

# Univerzita Karlova v Praze

## Přírodovědecká fakulta Ústav pro životní prostředí

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



**Kristina Kosánová**

### **Využití solární energie v rámci Evropské unie s případovou studií pro území České republiky**

Using solar energy in the framework of the European Union extended by a case study for  
the region of the Czech Republic

Bakalářská práce

Školitel: Ing. Luboš Matějček, Ph.D.

Praha, 2015

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 4. 8. 2015

.....

## **Poděkování:**

Děkuji panu školiteli Ing. Luboši Matějčkov, Ph.D. za cenné rady a trpělivost projevenou při zpracovávání této bakalářské práce.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou současného využívání solární energie v jednotlivých státech Evropské unie a to jak z pohledu fotovoltaických článků, tak i z pohledu solárních termálních systémů pro ohřev vody. Množství využití solární energie je porovnáváno s úhrnem slunečního záření na daném území, jakožto hlavního ukazatele pro možnosti využití solární energie. Práce vychází ze zpracování různých literárních a internetových zdrojů, díky kterým je získán ucelený pohled na tento obnovitelný zdroj. V druhé části práce je kladen důraz na území České republiky. Tato případová studie vychází z mapových podkladů a součástí výsledku je i mapa vytvořená v programu GIS, která ukazuje území s nejvyššími příjmy energie ze slunce, jak pro území celé České republiky, tak pro vybranou část území hlavního města Prahy.

**Klíčová slova:** solární energie, EU, Česká republika, GIS, prostorová analýza

## Abstract

This bachelor thesis analyzes the current use of solar energy in the European Union member states, both in terms of photovoltaic systems and in terms of solar thermal systems. The amount of used solar energy is compared with the sum of solar radiation in given area, as the main indicator for the possibility of using solar energy. The thesis is based on the processing of various literary and online sources, which give a comprehensive view of this renewable resource. The second part is focused on the territory of the Czech Republic. The case study is based on maps. The result also contains a map created in GIS, which shows the areas with the highest solar energy income for the entire Czech Republic as well as for the selected part of Prague.

**Key words:** solar energy, EU, Czech republic, GIS, spatial analysis

# Obsah

1. ÚVOD .....	1
2. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ .....	1
2.1. Průchod záření atmosférou .....	2
2.2. Faktory ovlivňující umístění solárních systémů .....	3
2.2.1. Úhrn slunečního záření .....	3
2.2.2. Orientace vůči světovým stranám .....	4
2.2.3. Sklon panelů vůči dopadajícím slunečním paprskům .....	6
2.2.4. Stínění .....	7
2.2.5. Další negativní faktory .....	7
3. SOLÁRNÍ ZAŘÍZENÍ .....	8
3.1. Solární fotovoltaické kolektory .....	8
3.1.1. Výroba elektřiny .....	9
3.1.2. Využití .....	9
3.2. Solární fototermické kolektory .....	10
3.2.1. Výroba tepelné energie .....	10
3.2.2. Využití .....	10
3.3. Dopad na životní prostředí .....	11
4. VYUŽITÍ V EVROPSKÉ UNII .....	12
4.1. Legislativa .....	12
4.1.1. Kjótský protokol .....	12
4.1.2. Bílá kniha .....	13
4.1.3. Směrnice Evropského parlamentu a rady .....	13
4.2. Zhodnocení přírodního potenciálu pro výrobu solární energie .....	14
4.3. Zhodnocení ekonomického potenciálu zemí EU pro výrobu solární energie .....	16
4.4. Jednotlivé státy a jejich využití solární energie .....	17
4.4.1. Německo .....	17
4.4.2. Velká Británie .....	18
4.4.3. Itálie .....	19
4.4.4. Španělsko .....	20
4.4.5. Francie .....	20
4.4.6. Belgie .....	21
4.4.7. Řecko .....	21
4.4.8. Ostatní státy EU pod 2 GW celkového instalovaného výkonu v roce 2014 .....	22
5. VYUŽITÍ V ČESKÉ REPUBLICE .....	24
5.1. Místní podmínky .....	24
5.2. Systém podpory .....	25
5.3. Vývoj využití solární energie .....	25

6. PŘÍPADOVÁ STUDIE .....	26
6.1. Úvod .....	26
6.2. Metodika.....	27
6.2.1. PVGIS .....	27
6.2.2. ArcGIS .....	28
6.3. Výsledky.....	29
7. ZÁVĚR .....	30
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	31
9. SEZNAM LITERATURY .....	32
PŘÍLOHA A: MAPY PVGIS .....	37
A.1. Celkové měsíční úhrny slunečního záření na horizontální ploše pro Českou republiku...	37
A.2. Celkové úhrny slunečního záření pro měsíc s nejnižšími a nejvyššími hodnotami energie na metr čtvereční .....	38
A.3. Celkový roční úhrn slunečního záření v České republice .....	39
PŘÍLOHA B: MAPY ArcGIS.....	40
B.1. Celkové měsíční úhrny slunečního záření ve vybrané oblasti Prahy 1 v okolí Vltavy.....	40
B.2. Celkový roční úhrn slunečního záření ve vybrané oblasti Prahy 1 v okolí Vltavy.....	41
PŘÍLOHA C: GRAF .....	42
C.1. Graf porovnávající naměřené hodnoty ze senzoru s hodnotami vypočítanými v programu ArcGIS .....	42

# 1. ÚVOD

Solární energie patří v současné době mezi nejperspektivnější zdroje obnovitelné energie na Zemi. Energie Slunce může působit jako zdroj tepla či jako zdroj pro výrobu elektřiny. Má minimální nároky na spotřebu primární neobnovitelné energie a také není zdrojem emisí během jejího využívání. Solární energie je dostupná na všech místech naší planety, což patří mezi její hlavní výhody oproti ostatním zdrojům obnovitelné energie, jako je vodní energie, která je dostupná jen na místech s řekami či vodními plochami. Je to také největší zdroj energie na naší planetě, který dává energii jak organismům, tak i lidem. To však s sebou přináší i jistá úskalí, protože ne každé místo na planetě má stejný příkon sluneční energie. Čím více se blížíme k pólům, tím více se snižuje množství dopadené energie. Z tohoto důvodu jsou některá místa pro její využití vhodnější než jiná. I přes drobná úskalí má solární energie největší potenciál stát se důležitým zdrojem energie jak v současnosti, tak i v budoucnosti. Podle Rozvojového programu OSN roční potenciál sluneční energie za rok 2000 činil 1 575 – 49 387 EJ (Goldemberg, 2000). To je více, než byla celková světová spotřeba energie v roce 2012, která činila 558,9 EJ (IEA, 2014). Tento závěr nám názorně ukazuje, jak důležitým zdrojem solární energie je. Z tohoto důvodu by měla patřit mezi jedny z nejvyužívanějších zdrojů energie převážně do budoucna, kdy se počítá s vyčerpáním neobnovitelných zdrojů a bude potřeba najít nový vhodný zdroj. I v současné době má však své využití. V rámci trvale udržitelného rozvoje zaujímá významné místo mezi zdroji, které státy mohou získávat nezávisle na dovozu surovin. To snižuje riziko energetické krize v případě válečného konfliktu či jiných politických a ekonomických problémů.

Rešeršní část bakalářské práce se zabývá současným využíváním solární energie, jak pro výrobu elektřiny, tak pro výrobu tepla ve státech Evropské Unie. Experimentální část se zabývá územím České republiky a využívá zdrojová data z PVGIS, digitální model povrchu a měření celkové solární energie v oblasti Botanické zahrady PřF UK k získání lepšího pohledu na místní podmínky pro využívání solární energie.

## 2. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

Sluneční záření je hlavním a jediným zdrojem solární energie. Dělí se na dva druhy. Přímé záření dopadá na povrch Země ve své nezměněné formě, tak jak bylo vyzářeno Sluncem. Toto záření dopadá ve svazku přibližně rovnoběžných paprsků. Přímé záření lze koncentrovat například pomocí zrcadel nebo čoček do určitého místa, a tím získat větší energii použitelnou v solárních systémech. Dalším druhem je difuzní záření, jenž vzniká rozptylem přímého záření

na mracích a částechkách v atmosféře. Říká se mu též záření oblohy a na zemský povrch přichází ze všech směrů. Toto záření nelze koncentrovat, a proto je jeho využití solárními systémy zpravidla méně významné (Tester, 2005) (Beranovský et al., 2000).

## 2.1. Průchod záření atmosférou

Průchod slunečního záření od jeho zdroje na Slunci až k zemskému povrchu, kde může být využito jako zdroj solární energie, je ovlivněn několika faktory, které na něj působí v atmosféře. Sluneční záření pohlcované atmosférou a zemským povrchem má vliv také na pohyby atmosféry. Ty souvisí s výskytem počasí a klimatu (Lacis & Hansen, 1973). Oba tyto faktory poté ovlivňují množství energie, které dopadá na zemský povrch, protože například oblačnost toto množství snižuje velkým dílem. Celkové záření, které dopadne na  $1 \text{ m}^2$  za sekundu v oblasti mimo atmosféru, se nazývá solární konstanta a má hodnotu  $1,354 \text{ kW/m}^2$  (Tester, 2005).

Dále velmi významné jsou tři procesy, kterými se snižuje množství záření a které výrazně ovlivňují průchod atmosférou. Jedná se o rozptyl, absorpci a odraz. K těmto jevům dochází v atmosféře, když je přicházející sluneční záření ovlivňováno plyny a suspendovanými částicemi. Přibližně polovina celkového záření tak na povrch Země nedopadne.

Rozptyl světa nastává, když malé částice a molekuly plynu rozptylují přicházející záření do různých směrů, aniž by při tom došlo ke změně vlastností, jako je třeba vlnová délka. Rozptyl však snižuje množství záření, které dopadá na zemský povrch, protože velká část je přesměrována zpět do vesmíru. Množství rozptýleného světla závidí na dvou faktorech, na vlnové délce dopadajícího záření a na velikosti molekul, které záření rozptylují. Rozptýlené světlo je neřízené, a proto se jeví jako přicházející ze všech směrů. Říká se mu též difuzní záření. Rozptýlené světlo je převážně světlo krátkých vlnových délek, a proto se denní obloha jeví jako modrá. Asi 21 % slunečního záření, které dopadne na povrch země, je tvořeno přímým zářením a asi 29 % je tvořeno difusním nebo rozptýleným zářením (Tester, 2005) (Pidwirny, 2005).

Absorpce je proces, při kterém některé plyny a částice mají schopnost pohltit sluneční záření. Tyto fotony, které jsou látkou zachyceny, jsou zde přeměněny na tepelnou energii a ta je posléze vyzařována částicí. Specifické plyny, jako je ozon, oxid uhličitý nebo vodní pára, mají velmi vysokou absorpci fotonů. Ozon, kyslík či dusík pohlcují hlavně ultrafialovou složku záření, kdežto vodní pára a oxid uhličitý pohlcují velkou část infračerveného záření. Z toho vyplývá, že různé plyny v atmosféře dokážou měnit spektrální obsah prošlého slunečního záření. To však má pouze malý vliv na celkovou sílu (Tester, 2005).



Poslední proces snižující dopadající záření je odraz. Při něm je světlo posláno zpět nebo přesměrováno, poté co narazí na částice v atmosféře. Odraz způsobuje 100% ztrátu slunečního záření. V atmosféře je většina záření odražena mraky, kde se o odraz starají částice kapalné či zmrzlé vody (Pidwirny, 2007) (Honsberg & Bowden, 2014).

Účinnost solárních termálních systémů je vysoká, okolo 30-60 %, kdežto účinnost fotovoltaických systémů je významně nižší, okolo 8-15% (Tester, 2005).

## **2.2. Faktory ovlivňující umístění solárních systémů**

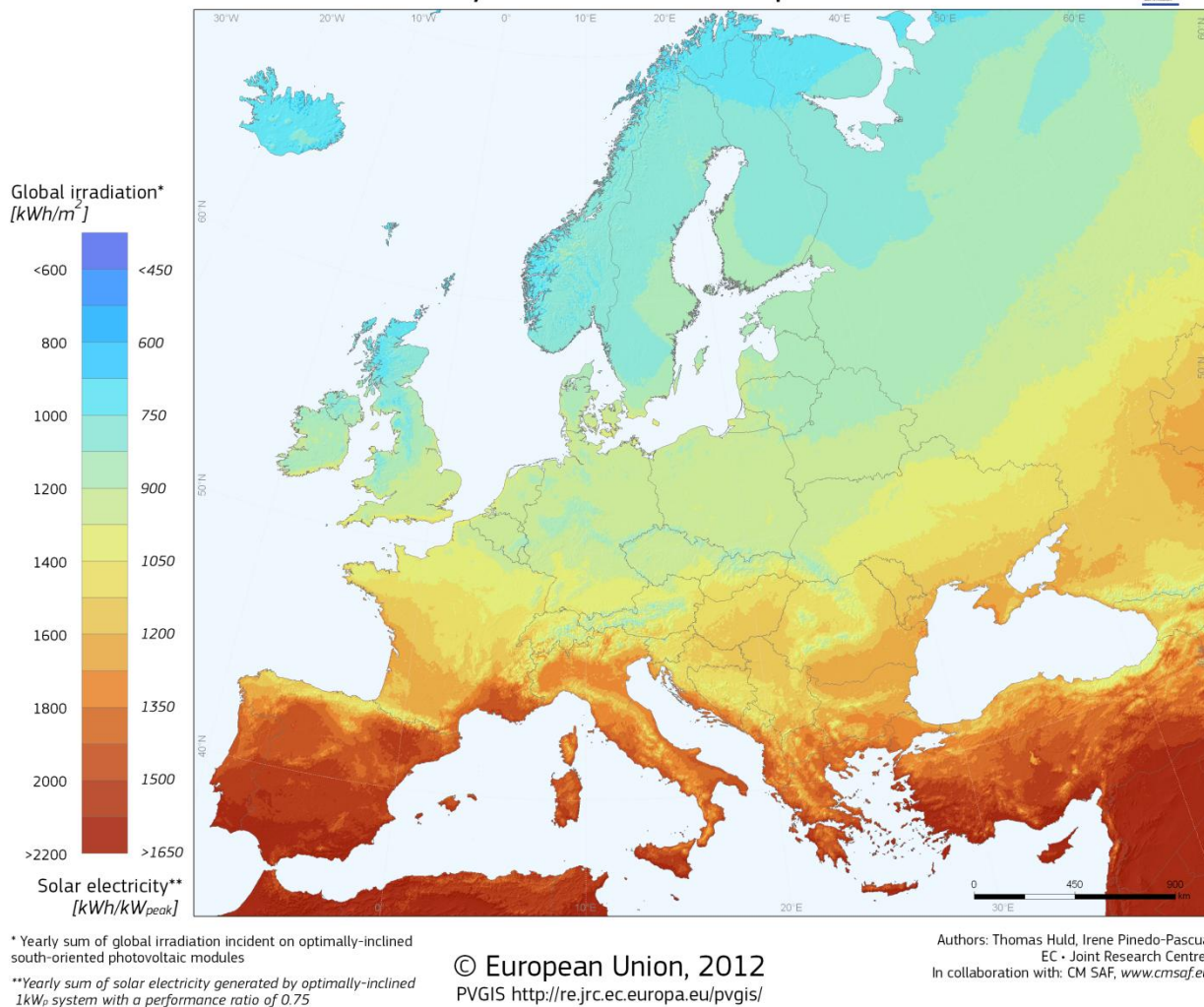
Faktorů, které ovlivňují množství energie, které dopadne na solární systém, je mnoho. Mezi hlavní a samozřejmě i nejdůležitější patří úhrn slunečního záření. Ten je nejvyšší v rovníkových oblastech a směrem k pólům se jeho množství snižuje. Vyšší úhrn slunečního záření ale nalezneme také ve vyšších nadmořských výškách, protože zde sluneční paprsky urazí menší vzdálenost atmosférou a jsou tedy méně ovlivněny procesy, které v atmosféře probíhají, a které snižují množství prošlého záření. Dalším faktorem je orientace kolektorů vůči světovým stranám a úhel, který svírá solární kolektor vůči dopadajícím paprskům. Tyto tři faktory jsou nejdůležitější vzhledem k množství získané energie či tepla. Existují však další faktory, které ovlivňují umístění negativně. Sem patří výskyt oblačnosti. Oblačnost již nemůže být ovlivněna lidmi, a proto místa s častým výskytem oblačnosti nejsou pro umístění solárních systémů natolik vhodná jako jiná. Dalším významným negativním faktorem je zastínění. To může být způsobeno okolními budovami, stromy, komíny atd. Již méně významný je faktor prašnosti a výskyt mlh (Angelis-Dimakis et al., 2011).

### **2.2.1. Úhrn slunečního záření**

Množství slunečního záření dopadajícího na určitou plochu je bezpochyby nejdůležitějším faktorem při realizaci solárních systémů. Tento faktor nám ukazuje, jaké množství energie vůbec můžeme na daném území získat. Obvykle se měří množství energie dopadající na horizontální rovinu povrchu. Výsledné množství energie, které můžeme poté získat, se odvíjí i od sklonu panelů, orientace vůči světovým stranám a dalších faktorů, jak je vysvětleno později. Úhrn slunečního záření pro území České republiky se významně neliší na celém území. Samozřejmě jako nejvýhodnější se jeví nejjižnější části republiky jako je jižní Morava a nejhůře na tom je severozápad Čech. Avšak výsledné hodnoty se liší jen v řádu desítek kWh/m<sup>2</sup>. Tento malý rozdíl je dán malou rozlohou České republiky a také vyrovnanými klimatickými podmínkami na celém území.

V rámci Evropy jsou z hlediska úhrnu slunečního záření na tom nejlépe jižní státy jako Itálie, Řecko, Španělsko, Portugalsko a jižní část Francie. Čím více na sever se poté dostáváme, tím menší množství energie můžeme ze solárních systémů získat. Je tedy zřejmé, že oblasti Skandinávie budou na tom z hlediska Evropy úplně nejhůře. Naměřené průměrné roční sumy slunečního záření na optimálně skloněné ploše lze vidět na mapě na obrázku 1.

## Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



**Obrázek 1:** Sluneční elektrický potenciál v evropských zemích (Zdroj: JRC, 2012)

### 2.2.2. Orientace vůči světovým stranám

Orientace vůči světovým stranám se dá také jiným slovem nazvat azimut. Azimut je úhel a udává směr, ze kterého přichází sluneční záření. Měří se ve stupních. V poledne je slunce vždy přesně na jihu, pokud se nacházíme na severní polokouli, a přesně na severu, pokud se nacházíme na jižní polokouli. Úhel se mění v závislosti na roční době. Při rovnodennosti Slunce vychází přesně na východě a zapadá přesně na západě. Úhly jsou nastaveny následovně, jih má

0°, sever 180°, východ 90° a západ 270°. Avšak azimutový úhel se mění i v závislosti na zeměpisné šířce a denní době (Honsberg & Bowden, 2014).

Špatná orientace solárních kolektorů vůči světovým stranám může způsobit markantní ztráty energie, proto je správná orientace nutností u každého kolektoru. Na severní polokouli je Slunce vždy na jihu, pokud se nacházíme mezi 23. a 90. rovnoběžkou. To znamená, že správná orientace solárních modulů musí směřovat k jihu, aby získaly maximum sluneční energie ze slunečních paprsků. Tedy správný azimut kolektorů je 0°. Kolektory není vhodné umisťovat na severní stranu, protože tato strana získává ze Slunce nejméně záření a je i nejvíce zastíněna. Pokud chceme umístit kolektory na střechu obytného domu, který nemá střechu orientovanou na jih, je další možností umístění kolektorů na stranu východní nebo západní. Obecně se častěji doporučuje západně orientovaná střecha, protože Slunce má v odpoledních hodinách větší sílu. Na umístění má však vliv mnoho dalších faktorů, a proto by měly být vždy vzaty v úvahu lokální podmínky. Díky nim může být například výhodnější jiná strana než přesný jih.

Jak již tedy bylo řečeno, nejvýhodnější strana na umístění solárních systémů v případě, že zde nepřetrvávají místní nepříznivé podmínky, je jižní. Ztráty při umístění kolektorů v úhlu plus minus 20° od přesného jihu pak způsobí ztrátu pouhého 1 % energie. I 45° odchylka od jihu k východu či západu způsobí pouze zanedbatelné ztráty okolo 4 % a odchylka o 60° ztráty okolo 6 %. Východní a západní střechy pak již mají ztráty větší. Umístění na východní stranu by mělo způsobit úbytek energie oproti maximu o 13 % a umístění na západní stranu úbytek o 14 %. Jak je tedy vidět, ztráty sluneční energie se zvětšují se vzdalujícím se úhlem od přesného jihu. Největší ztráty jsou tedy při umístění na severní stranu a jedná se o přibližně 34% oproti maximálním hodnotám, kterých sluneční energie nabývá na jižní straně. Tyto procenta byla vypočítána pro město Phoenix, které leží na 33. rovnoběžce severní šířky, a proto se mohou ztráty mírně lišit v závislosti na roční době a zeměpisné šířce, jak již bylo řečeno výše (Bas, 2010). Pro naše zeměpisné šířky by ztráty měly být o něco vyšší, protože Česká republika leží více severně. Zde by ztráty měly být přibližně 10 % při orientaci azimutu o 45° směrem na východ nebo západ, a o 20 % při přímé orientaci východním nebo západním směrem (Matuška, 2013).

### **2.2.2.1. Sledovací systémy**

Jako úplně nejvýhodnější možnost se jeví instalace sledovacích systémů, které otáčejí panely za Sluncem, tedy na východ v dopoledních hodinách a na západ v odpoledních. Jejich instalace má však i své nevýhody. Za prvé je jejich instalace velmi drahá, za druhé vyžaduje

umístění na ploché střechy či podloží a za třetí sama využívá část vyrobené energie nebo dodané energie na samotné otáčení za Sluncem. I přes tyto drobné nevýhody jsou systémy hojně využívány ve světě. V několika nezávislých studiích bylo prokázáno, že sledování dráhy Slunce během dne výrazně zvyšuje průměrnou roční produkci energie oproti systémům s nastaveným pevným neměnným úhlem. Podle průzkumu bylo zjištěno, že sluneční trackery zvyšují shromážděnou energii o 10 až 100% v závislosti na roční době a zeměpisných podmínkách (Mousazadeh et al., 2009). Tyto výsledky byly nezávisle na tom potvrzeny i v několika dalších studiích, jako například ve třicetidenní studii, která porovnávala systémy se sledovačem Slunce a nepohyblivé systémy. Zde bylo prokázáno, že systémy se sledovačem dokážou vyrobit o 12 až 20 % více energie, než stabilní systémy. Maximum možné energie je získáno během slunečních dní, kdy je jasná obloha bez mraků, kdy sledovače prokazují svou efektivnost zejména v pozdějších denních hodinách (Lazaroiu et al., 2015). Instalování sledovačů do oblastí s častým výskytem oblačnosti se ukázalo jako méně vhodné, protože panely se sledovačem vyrobí až o 25% méně energie při zatažené obloze v letních dnech, než panely s pevným umístěním při stejných podmínkách. Tyto podmínky se často vyskytují zejména ve vysokých zeměpisných šířkách, proto je vhodné umisťovat sledovače slunečního záření převážně v oblastech, kde je oblačnost méně častým jevem. Jako nejvýhodnější se jeví oblasti subtropů, kde jsou deště a oblačnost ojedinělé (Quesada et al., 2015).

### **2.2.3. Sklon panelů vůči dopadajícím slunečním paprskům**

Dalším významným faktorem pro umístění solárních systémů je jejich sklon vůči dopadajícím paprskům. Ideální situací je orientace tak, aby paprsky vždy dopadaly kolmo na plochu panelu, protože tak je získáno a využito maximum možné energie ze Slunce.

Sklon panelů závisí na zeměpisné šířce, ve které jsou umístěny. Pro oblast České republiky se doporučuje sklon 35°, který se jeví jako optimální pro fotovoltaické panely. Avšak z hlediska estetického se při umístění na střešní krytinu doporučuje zachovat sklon střechy. Docílí se tím lepšího vzhledu a ztráty energie nejsou nijak závratné. Česká republika nemá vzhledem ke své malé rozloze rozdílný doporučený stupeň sklonu na severu a na jihu.

Pokud je to možné, je výhodné měnit sklon panelů během roku. Jedná se pouze o změnu dvakrát za rok, to znamená jiný úhel sklonu pro zimní a jiný pro letní období. Bylo tak zjištěno, že je možné získat o 3 až 26 % více energie než při pevném sklonu po celý rok. Tyto studie ukazují, že možnost měnit úhel sklonu ve studeném a horkém období viditelně zlepšuje výkon a rovnoměrnost výkonu během roku (Mehleri et al., 2010). Dále se ukazuje, že je většinou

mnohem výhodnější umisťovat solární systémy více horizontálně než vertikálně, v případě, že není možnost umístit je do optimálního sklonu pro danou lokalitu. Na horizontální plochu totiž přijde mnohem více slunečních paprsků a je tak často účinnější než poloha vertikální. Vyjádřeno v procentech se jedná o ztrátu pouhých 10 % celoročního výnosu energie při umístění panelů ve vodorovné poloze, než při umístění v doporučeném optimálním úhlu 35° (Bechník, 2014).

Pro solární tepelné soustavy se za optimum považuje úhel 45°. Rozdílný úhel vzhledem k fotovoltaickým panelům, je dán především použitím obou systémů. Tímto rozdílným úhlem je možné zmírnit letní nevyužitelné přebytky tepla a naopak zvýšit produkci v přechodovém období (Matuška, 2013).

#### **2.2.4. Stínění**

Jako negativní vliv lze uvést zastínění panelů. Jedná se pravděpodobně o nejzávažnější negativní vliv, se kterým se u solárních systémů setkáváme. Stínění může být dvojího druhu. Proměnlivé stínění vytváří například vegetace a trvalé stínění vytváří pevné objekty jako budovy, komíny, vikýře a podobně. Hlavním problémem stínění je fakt, že zastíněná plocha indukuje teplo. Zejména fotovoltaické systémy jsou na zastínění velmi citlivé. Bylo experimentálně prokázáno, že zastínění jednoho článku na fotovoltaickém panelu, způsobí stejné ztráty energie, jako by byla zastíněna celá svislá řada složená ze 12 článků. Tato ztráta činí dokonce 58 % výkonu panelu (ČVUT, [2015]).

Umísťování solárních systému na střechy budov podstatně minimalizuje riziko stínění. I zde je však třeba počítat se stíněním pokud se v okolí nachází vyšší budovy. Zejména důležitá je východní a západní světová strana. Pokud se nachází vysoká budova na jedné z těchto stran, tak se účinek stínu snižuje se zvětšující se vzdáleností od budovy. Z tohoto důvodu je vhodné umístit systém do vzdálenějšího jižního rohu střechy. Čím blíže se solární systém nachází u stínícího objektu, tím jsou ztráty větší. Navíc stín mění optimální úhel sklonu solárních kolektorů. Pokud je střecha stíněna jen z jedné strany tak se úhel sklonu v podstatě nemusí měnit vzhledem k optimálnímu. Problém nastává při výskytu svou vysokých budov na východní i západní straně. Zde je třeba úhel trochu poupravit (Moghadam & Deymeh, 2015).

#### **2.2.5. Další negativní faktory**

Mezi další negativní faktory patří například oblačnost. V oblastech s častým výskytem oblačnosti je vytěžená energie podstatně menší, než v oblastech, které tímto problémem netrpí. Mraky mají vysoké albedo a jako takové odráží velkou část slunečního záření zpět do vesmíru.

Mraky díky své bílé barvě odráží 70 až 90% slunečního světla a odrazí asi 20% sluneční energie a dalších 19% energie pohltí (Země, 2009). Podobný problém nastává při výskytu mlh, které taktéž částečně brání průniku záření.

Jako další potenciální problém lze uvést prašnost, která může způsobovat zanášení povrchu panelů drobnými pevnými částicemi a tím snižovat jejich účinnost. Tento problém je významný zejména v suchých oblastech, kde je prašnost vysoká. V současné době však již panely mají samočisticí schopnost, a proto je tento problém jen velmi okrajový. Navíc na našem území je díky poměrně častým deštům panel omýván i vodou a nehrozí zde významná ztráta výkonu (VZT.Art, [2015]).

### **3. SOLÁRNÍ ZAŘÍZENÍ**

Solární energii lze zpracovávat dvěma odlišnými způsoby. Prvním z nich jsou fotovoltaické kolektory, které využívají solární energii k výrobě elektrického proudu. Druhým příkladem jsou solární termické kolektory, které využívají sluneční energii k výrobě tepelné energie, tedy například k ohřevu vody. Kromě výše zmíněných kolektorů, které jsou využívány zejména ve velkém měřítku jak v domácnostech, tak v případě fotovoltaických kolektorů v elektrárnách, dnes existují i menší přístroje využívající solární energii jako zdroj. Jako příklad lze uvést kalkulačku, která využívá svůj malý solární kolektor k napájení své baterie nebo různé zahradní lampičky, které přes den sbírají energii a v noci ji využívají ke svícení. Existují také přenosné nabíječky, které díky využití solární energie, které je dostupná všude na zemi, mají široké spektrum použití.

#### **3.1. Solární fotovoltaické kolektory**

Fotovoltaické solární kolektory (panely) slouží, jak již bylo řečeno, k výrobě elektřiny. K přeměně slunečního záření na elektrickou energii využívají fotovoltaického jevu. Vzhledem k tomu, že jejich údržba je velmi jednoduchá a samotná zařízení nejsou moc složitá, je jejich hlavní předností využití jako takzvané ostrovní solární systémy. Tyto systémy nejsou zapojeny do veřejné sítě a vyrábí energii jen pro daného majitele. Hlavní výhodou je možnost zapojení i v oblastech bez přístupu k elektrickému vedení a lze je tedy využít kdekoliv, kde není dostupná distribuce elektřiny, ale i jako podpůrný zdroj v místech s pravidelnými dodávkami elektřiny ze sítě. Jejich použití je tedy velmi široké, od ostrovních systémů až po solární elektrárny s výkony v řádech megawattů. Toto spolu s faktem, že se jedná o obnovitelný zdroj energie, zvyšuje poptávku pro fotovoltaiku každým rokem. (Parida et al., 2011)

### 3.1.1. Výroba elektřiny

Fotovoltaický jev spočívá v tom, že polovodičová destička na solárním článku při dopadu slunečního záření uvolní elektrony. Sluneční záření musí mít energii alespoň 1,12 eV, jinak není schopno elektrony uvolnit. Dopadá-li světlo na povrch fotočlánku, předávají fotony svou energii atomům v krystalové mřížce křemíku a uvolňují z ní elektrony. Kdyby mezi oběma vrstvami nebyla bariéra přechodu PN, přecházely by v krystalu elektrony volně z místa přebytku do místa nedostatku a fotočlánek by se nemohl stát zdrojem napětí. Elektrony by se spojovaly s "děrami", docházelo by k jejich rekombinaci. Přechod PN však způsobí, že elektrony uvolněné v horní vrstvě polovodiče N nemohou přecházet do vrstvy P a nahromadí se proto ve vrstvě N. Elektrony uvolněné světlem ve vrstvě P naopak mohou přes přechod PN přecházet do vrstvy N a počet elektronů se v ní dále zvyšuje. Nahromaděním volných elektronů vznikne mezi horní a spodní vrstvou elektrické napětí o velikosti kolem 0,6 V (Kusala, 2006).

### 3.1.2. Využití

Vzhledem ke zvyšování efektivity, snižování nákladů a minimálnímu znečištění životního prostředí mají dnes fotovoltaické systémy široký rozsah použití.

Dnes velmi moderní je jejich využití v takzvaných stavebních integrovaných fotovoltaických systémech. Zde jsou panely zabudovány do budov jako jejich přirozené součásti. Lze tak nahradit například opláštění budovy a zároveň získat vlastní zdroj energie. Panely jsou velmi odolné proti povětrnostním vlivům a současně slouží jako tepelná izolace, proto není třeba žádných dalších stavebních úprav. Lze je umístit místo střešní krytiny, obkladů či skla. Navíc působí i dobrým estetickým dojmem (Parida et al., 2011).

Další možností je využití při reverzní osmóze, která dokáže odsolovat mořskou vodu. Zde je možné odsolit 5,8 m<sup>3</sup> vody za den jen za použití solární elektřiny. Toto využití je však možné hlavně v subtropických oblastech Středomoří a oblastech s podobnými podmínkami (Hasnain & Alajlan, 1998).

Dále se navrhuje využití ve vesmíru, kde atmosféra nesnižuje pronikající záření či v suchých oblastech jako sluncem napájené zavlažovací systémy. Samozřejmostí je jejich využití jako domácí solární systémy při umístění několika panelů na střechu domu. Tyto využití významně přispívají k ochraně klimatu, protože neemitují emise skleníkových plynů (Parida et al., 2011). Existuje i velké množství menších vynálezů, které využívají solární energii. Jako příklad uvedu lis na olej, který najde své využití zejména v rozvojových zemích (Mpagalile et al., 2006).

## 3.2. Solární fototermické kolektory

Solární fototermické kolektory slouží k výrobě tepelné energie. Podstatou vzniku tepelné energie je absorber, který přeměňuje dopadající sluneční záření na tepelnou energii. Tyto kolektory lze využít k ohřevu bazénové vody, k přípravě užitkové vody či k vytápění. Podle způsobu, kterým chceme teplo využívat, si poté vybereme vhodný typ kolektoru. Existují v podstatě tři hlavní druhy: bazénové, kapalinové a vakuové. Podle druhu se odvíjí i pořizovací cena, účinnost a období v roce, po které je možné je využívat (Solární energie.info, [2015]).

### 3.2.1. Výroba tepelné energie

Hlavní částí solárního termálního kolektoru je absorber, který pohlcuje sluneční záření a převádí ho na teplo. Toto teplo je poté absorbováno teplotonosnou kapalinou. Tou může být voda, nemrznoucí kapalina nebo kromě kapalin také vzduch. Tato látka cirkuluje kolektorem a může být buď přímo okamžitě využita, nebo uložena. V každém případě by použitá látka měla mít dobrou akumulační schopnost, aby teplo udržela po co nejdelší čas. Část kolektoru je vystavena povětrnostním vlivům, a proto by měla být chráněna před zamrznutím nebo v opačném případě přehřátím. Existují dva typy systémů: přímé kde kapalina, která se využívá je přímo ohřívána v kolektoru, a nepřímé, kde látka ohřívána v kolektoru poté prochází výměníkem tepla, kde svou energii předá užitkové vodě (Kalogirou, 2004).

### 3.2.2. Využití

Bazénové kolektory jsou, jak je ze jména zřejmé, využívány k ohřevu bazénové vody během letních horkých dnů. Nemají izolaci proti povětrnostním vlivům, a proto mohou být efektivně využívány jen během letních dní. Dalším druhem termálních kolektorů jsou ty se soustředěním paprsků pomocí zrcadel do jednoho bodu. Jsou využívány zejména v místech, kde je potřeba ohřev vody na vysoké teploty, a z toho důvodu jsou využívány často pro výrobu páry. Kapalinové kolektory jsou dalším druhem a patří mezi nejběžnější a nejrozšířenější druh. Využívají se v domácnostech. Posledním druhem jsou vakuové kolektory. Vakuum poskytuje skvělou ochranu proti tepelným ztrátám. Mohou být využívány kdekoliv, ale jejich pořizovací cena je samozřejmě dražší díky lepší účinnosti a izolační schopnosti. (Humphreys, [2015])



### 3.3. Dopad na životní prostředí

Není všechno zlato, co se třpytí, a proto i obnovitelné zdroje mají své stinné stránky. Potenciální dopady na životní prostředí spojené s využitím solární energie jsou převážně zábor půdy a ztráta přirozeného prostředí, znečištění vody a vyžívání nebezpečných látek ve výrobním procesu. Jednotlivé dopady se však liší v závislosti na druhu výroby. Fotovoltaické či solární termální články prochází různými výrobními procesy a také závisí na velikosti výroby, zda se jedná o malé střešní panely či velké panely pro solární elektrárny. V závislosti na jejich umístění se můžeme bavit o degradaci půdy a ničení biotopů při umisťování ohromných solárních elektráren do dříve přírodní krajiny. Samozřejmě však solární systémy nemusí být umisťovány pouze do zemědělské krajiny, která tím ztrácí svůj ráz. Možností, kam je umístit aniž by došlo k degradaci krajiny je více. Jednou z možností je využití krajiny již dříve člověkem poškozené a nyní bez využití jako jsou brownfields, opuštěné těžební prostory či v menším měřítku umístění na domech či komerčních budovách. Tímto lze zamezit další degradaci půdy. Dalším problémem je znečištění vody. Jako u všech výrobních procesů i při výrobě solárních panelů je voda využívána ke chlazení, a proto je po odchodu tepelně znečištěná. Navíc solární tepelné kolektory využívají vodu ve svém okruhu a ta se při chlazení mění v páru, je zde tedy velká spotřeba vody. Existují však i okruhy s průtočnou chladicí technologií, které nemají vysokou spotřebu, protože voda recirkuluje, ale mají vysoký odběr vody. Proto je často v oblastech s největším potenciálem využití díky slunečním úhrnům problém s nedostatkem vody. Při výrobě fotovoltaických článků se používají i nebezpečné materiály, často k čištění povrchu polovodiče. Patří sem kyselina chlorovodíková, fluorovodík a aceton. Množství a druh vždy závisí na druhu výrobního závodu. Do určitých druhů panelů se pak používají i toxické látky. Je to problém převážně nekřemíkových kolektorů. Tyto toxické materiály jsou však drahé a z toho důvodu se závodům vyplatí je ve vlastním zájmu recyklovat a nepoškodovat jimi životní prostředí. Co se týče emisí způsobujících globální změny klimatu, je jejich produkce vázána pouze na přepravu a výrobu. I tak je však množství oxidu uhličitého podstatně nižší než při výrobě energie ze zemního plynu či uhlí. U solární elektřiny je produkce  $\text{CO}_2$  rovna 36,3 – 90,7 g  $\text{CO}_2/\text{kWh}$ , kdežto u uhlí je to 635 – 1632,9 g  $\text{CO}_2/\text{kWh}$ . Co je však zásadním problémem, továrny vyrábějící solární systémy jsou často neprůhledné, neinformují o produkovaném znečištění ani o chemikáliích, které při výrobě používají. Je to problém hlavně menších firem, které nemají silné závazky vůči spotřebitelům a jejich neochota chránit a informovat se poté odráží na levnější ceně produktu (ucsusa.org, 2013) (Nunez, 2014).

Je tedy vhodnější kupovat zařízení sice dražší, ale od renomované značky, kde je zaručeno, že vyšší cena výrobku odpovídá výrobním nákladům a splňuje podmínky pro ochranu životního

prostředí. Podezřele levné výrobky pak budou samozřejmě z těch závodů, které cílí jen na vysoký prodej, ale splňování ekologických závazků a informovanost veřejnosti jsou pro ně nepodstatné. Pokud tedy bude zaručeno, že takové firmy nebudou moci provozovat svou živnost, bude také zaručeno, že solární energie je opravdu nenáročný zdroj, co se týče znečišťování jak ovzduší, tak vod.

## **4. VYUŽITÍ V EVROPSKÉ UNII**

Roční sluneční záření, které dopadne na zemi, je téměř devětkrát vyšší, než jsou celkové zásoby energie z neobnovitelných zdrojů energie. Dostupné roční množství energie z dalších obnovitelných zdrojů je odhadováno na 1980 EJ, což je pouze malý zlomek roční energie ze Slunce. Solární energie může být použita jako zdroj světla, tepla a elektrické energie. To z ní dělá důležitou možnost, jak napájet různé energetické systémy po celém světě. Zájem o solární energii roste v posledních letech také díky ekonomickým důvodům. Státy se snaží o co nejmenší závislost na dovozu fosilních paliv ze zahraničí, o ochranu životního prostředí a snížení skleníkových plynů v atmosféře (Celik et al., 2009).

### **4.1. Legislativa**

Legislativa hraje důležitou roli při ovlivňování množství energie z obnovitelných zdrojů, které vyrobí členské státy EU. Díky podpoře rozvoje a dotacím lze přimět státy více využívat tento zdroj. EU se dlouhodobě snaží o přizpůsobení infrastruktury elektrické energie tak, aby byla vhodná pro rozsáhlé zavádění obnovitelných zdrojů energie. Dále se snaží o rozvoj nových technologií využívajících OZE. Vzhledem k vedoucímu postavení v oblasti technologií na výrobu energie z obnovitelných zdrojů ve světě, je dnes EU držitelem 40% světových patentů z oblasti výroby energie z obnovitelných zdrojů. V roce 2012 bylo 44% světové kapacity elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů vyrobeno v EU (kromě vodní energie). Významnou roli v počátcích politiky s cílem rozvoje OZE hrál Kjótský protokol. Na této konferenci v japonském městě Kjóto bylo upozorněno na potřebu snižovat množství emisí skleníkových plynů a nutnost ochrany stávajícího klimatu (Kerebel, 2015).

#### **4.1.1. Kjótský protokol**

Kjótský protokol je mezinárodní dohoda Rámcové úmluvy Organizace spojených národů o změně klimatu, která zavazuje zúčastněné strany k dodržování mezinárodně závazných dohod

s cílem snížit emise skleníkových plynů. Na této konferenci bylo stanoveno, že za současné vysoké úrovně emisí skleníkových plynů v atmosféře mohou převážně vyspělé státy světa, díky jejich více než 150 let trvajícimu rozvoji průmyslové činnosti. Z tohoto důvodu klade protokol těžší závazky na vyspělé země. Kjótský protokol byl přijat v Japonsku dne 11. prosince 1997 a vstoupil v platnost dne 16. února 2005. Jeho platnost však skončila rokem 2012. Proto byla na konferenci v katarském Dauhá v prosinci 2012 přijata novela Kjótského protokolu. Ta zavazuje státy splnit dané požadavky mezi obdobím 2013 až 2020. Konkrétně jde o snížení emisí skleníkových plynů nejméně o 18 % pod úroveň z roku 1990. Tento krok, přijatý vyspělými státy světa, vede k dalšímu využívání obnovitelných zdrojů energie a tím i k posílení jejich role v rámci energetického mixu (United Nations, 2014)

#### **4.1.2. Bílá kniha**

V roce 1997 byla přijata bílá kniha o obnovitelných zdrojích energie a EU si následně stanovila cíl do roku 2010 vyrábět 12 % spotřeby energie a 22,1 % spotřeby elektřiny z obnovitelných zdrojů (Kerebel, 2015).

V této knize bylo řečeno, že obnovitelné zdroje energie nejsou dostatečně ani rovnoměrně využívány v rámci Evropské unie i přes značný ekonomický potenciál. Bylo zapotřebí zvýšení množství energie vyrobené z obnovitelných zdrojů, aby bylo možno dostát mezinárodním i unijním závazkům. Díky rostoucí spotřebě energie ve třetích zemích světa se nabízely i slibné podmínky pro průmyslová odvětví EU, která byla v mnoha ohledech světovými lídry v oblasti technologií OZE. A samozřejmě také ochrana životního prostředí hrála důležitou roli v rozvoji využívání OZE v rámci Evropské unie (European Commission, 1997).

#### **4.1.3. Směrnice Evropského parlamentu a rady**

Směrnice zavazují jednotlivé členské státy EU k dodržování nebo splnění daných podmínek, aniž by jim diktovaly, jakým způsobem toho mají dosáhnout. Jsou závazné pro ty členské státy, kterým jsou adresované.

##### **4.1.3.1. Směrnice 2001/77/ES**

Směrnice ze dne 27. září 2001 o podpoře elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektřinou byla první zásadní směrnicí týkající se OZE. Navazovala na Bílou knihu a snažila se o podporu závazků z Kjótského protokolu. Byly v ní stanoveny

jednotlivé cíle, kterých mají členské státy dosáhnout. Pro Českou republiku to bylo 8 % spotřebované energie vyrobené z OZE do roku 2010. Tato směrnice byla později zrušena a nahrazena následující směrnicí číslo 2009/28/ES (Kerebel, 2015) (Bechnik, 2011).

#### **4.1.3.2. Směrnice 2009/28/ES**

Tato směrnice o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů byla přijata 23. dubna 2009. Bylo v ní stanoveno, že do roku 2020 musí být 20% podíl spotřeby energie EU vyroben z obnovitelných zdrojů energie. Každému státu EU byly určeny různé vnitrostátní cíle, jichž mají povinnost dosáhnout. Cíle byly stanoveny s ohledem na výchozí situace členských států. Například pro Českou republiku bylo jako cíl stanoveno vyrobit 13 % spotřebované energie z OZE do roku 2020. Všechny členské státy také mají za povinnost dosáhnout 10% podílu obnovitelných zdrojů v palivech určených pro přepravu do roku 2020. EU také navrhla mechanismy, které mohou státy využívat k podpoře splnění daných cílů, jako jsou dotace, společné projekty a spolupráce.

Dle průběžných kontrol plnění plánu bylo prokázáno, že podíl energie z obnovitelných zdrojů se výrazně zvýšil a že většina států dosáhla svých stanovených průběžných cílů. V roce 2012 Eurostat ukázal, že 14% spotřebované energie pochází z OZE pro 28 členských států (Kerebel, 2015).

#### **4.1.3.3. Směrnice 2009/72/ES**

Tato směrnice o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektrickou energií by měla usnadnit přeshraniční obchod s elektřinou a vstup novým dodavatelům, tak aby byla umožněna co nejkonkurenčnější cena elektřiny. Dále tato směrnice nabádá k co největšímu využívání OZE a dobrému fungování distribuční sítě v rámci členských států (Směrnice Evropského parlamentu a rady, 2009).

## **4.2. Zhodnocení přírodního potenciálu pro výrobu solární energie**

Přírodní potenciál pro výrobu solární energie je v Evropské unii velmi rozmanitý. Nachází se zde hodnoty roční sumy solární elektřiny generované 1 kWp systémem při horizontálním sklonu od 470 kWh do 1390 kWh. Spodní mez však hodně závisí na efektu stínu na horách, a proto na nestíněných místech se dostáváme k mírně vyššímu minimu 530 kWh/kWp v severní Skandinávii. Pokud se berou v úvahu pouze oblasti osídlené, pak se dostáváme

k potenciálu 630 kWh/kWp v severním Finsku, což je minimum, a k 1330 kWh/kWp na Maltě, které představuje maximum.

V podstatě může být Evropa rozdělena 50 rovnoběžkou severní šířky na dvě velké oblasti. Oblast na jih od této rovnoběžky je oblast s příznivými podmínkami pro výrobu solární energie a průměrný roční úhrn slunečního záření na optimálně skloněné ploše je zde vyšší než 1300 kWh/m<sup>2</sup>. Druhý region, nacházející se na sever od této rovnoběžky, je region s méně příznivými až nepříznivými podmínkami pro výrobu solární energie a úhrn slunečního záření na optimálně skloněné ploše je zde nižší než 1300 kWh/m<sup>2</sup>.

Evropská unie může být rozdělena do pěti regionů v závislosti na potenciálu pro výrobu solární energie:

První region má největší potenciál pro výrobu solární elektrické energie. Tato oblast zahrnuje zejména Portugalsko a oblast Středomoří, kde se v létě téměř nevyskytuje oblačnost a díky těmto podmínkám jsou zde dosahovány nejvyšší vrcholy produkce. Patří sem kromě Portugalska také Malta, Kypr, většina území Španělska, Itálie a Chorvatska, jižní Francie a Korsika a Řecko. V tomto regionu v osídlených oblastech generují fotovoltaické systémy ročně 1100 až 1330 kWh/kWp.

Ve druhém regionu se nachází také příznivé podmínky. V této oblasti leží severní část Španělska, Itálie, Chorvatsko a také Rumunsko a Bulharsko, které se nachází okolo Černého moře. Fotovoltaický potenciál v této oblasti je v rozsahu 1000 – 1100 kWh/kWp.

Dobré podmínky se nacházejí i na většině území Francie kromě severu a také ve většině států střední Evropy. Sem patří Maďarsko, Slovinsko, Rakousko, Slovensko a jižní Německo. Převažují zde kontinentální léta s roční generací elektrické energie v rozsahu 800 až 1000 kWh/kWp.

Čtvrtý region zahrnuje severozápadní Evropu, kam patří jižní Irsko, Anglie a Wales, severní Francie, Německo, Benelux a Dánsko a severní část střední Evropy s Polskem a většinou území České republiky a dále pobaltské státy, kam patří Estonsko, Lotyšsko a Litva, a jižní část Švédska a Finska. Zde převládají méně příznivé podmínky díky převládajícímu difuznímu záření. Roční generace se zde pohybuje v rozmezí 700 až 800 kWh/kWp.

Poslední region je z pohledu výroby elektrické energie ten nejchudší v Evropské unii. Patří se Skotsko a severní Švédsko a Finsko, kde roční suma klesá pod 700 kWh/kWp (Šúri et al., 2007).

Z těchto výsledků je zřejmé, že totožný solární systém bude generovat dvakrát tolik energie ve slunných oblastech Evropské unie jako je jižní Španělsko či Malta, než v chladných oblastech severní Skandinávie či Skotska. Tyto podklady jsou důležitým vodítkem pro legislativu Evropské unie, která jak již bylo řečeno, usiluje o dosažení 20 % spotřebované energie vyrobené z obnovitelných zdrojů energie a tedy i ze slunce do roku 2020. Ne každý stát má tak výhodnou polohu pro využívání solární energie, a proto pro každý stát musí být stanoveny různé podmínky a kvóty vzhledem k místním geografickým, ekonomickým a dalším podmínkám (European Commission, 2007).

### **4.3. Zhodnocení ekonomického potenciálu zemí EU pro výrobu solární energie**

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, jedním ze dvou nejdůležitějších faktorů pro produkci tepelné nebo elektrické energie ze solárních systémů je sluneční záření, které je na daném území k dispozici. Neméně důležitým faktorem je však i kupní síla, která se v současné době měří jako HDP na obyvatele. Jednotlivé země pak můžeme srovnat například pomocí posuzování, zda je růst instalovaných solárních kapacit obdobný jako u jiných zemí s podobnými slunečními podmínkami. Tento samotný faktor však k posuzování nestačí. Je třeba znát také HDP na obyvatele, protože bohatší země si mohou dovolit větší podporu obnovitelných zdrojů na úkor fosilních paliv, vzhledem k většímu množství peněz, které mohou do projektu investovat.

Nejrychleji rostoucí energetickou technologií na světě byly v letech 2006 a 2007 zasíťované fotovoltaické systémy s 50% ročním nárůstem instalované kapacity na odhadovaných 7,7 GW z původních 4 GW v roce 2004. I přesto však byl podíl ze solární fotovoltaické energie na celkovém množství vyrobené energie v zemích EU-15 pouze 0,5 %.

Solární termické systémy se od fotovoltaických liší jak v technologii, tak v množství vyprodukované energie. V roce 2004 byl celkový solární výkon 77 GW na celém světě, který se však do roku 2006 zvýšil o 19% na celých 105 GW. Tímto výkonem se myslí ohřev vody a vytápění. Počet domácností využívajících ohřev vody solárně se zvýšil na 40 milionů do roku 2004. Nejsilnější růst byl zaznamenán v zemích s podporou systémů ze strany politiky, jako je například Německo. V Barceloně ve Španělsku bylo naopak předpisy vyžadováno používání solárních termálních kolektorů, což také napomohlo k rozmachu. Odhadovaný roční výnos solárních termálních kolektorů byl pro rok 2002 v Evropě přibližně 4,6 TWh.

Největší nárůst výstavby fotovoltaických zařízení byl zaznamenán v Německu, které instalovalo celých 50 % všech instalovaných systémů za rok 2005. Také zde funguje podpůrný systém na výkup elektřiny ze solárních kolektorů se stanovenou cenou za kWh na 20 let. Cena se odvíjí od typu systému a velikosti, nejvíce je placeno za výkup z malých na budovách instalovaných systémů a nejméně za velké na zemi umístěné systémy. Ostatní státy také představily politiku s podporou obnovitelných zdrojů energie a byly to zejména státy okolo Středozemního moře, jako je Španělsko, Francie, Itálie a Řecko. V roce 2008 bylo Španělsko druhým největším fotovoltaickým trhem v Evropě, i když mělo jen zlomek výrobní kapacity Německa. V roce 2005 se také Itálie představila jako trh s podporou výkupu solární energie. Francie zavedla systém, který podporuje výkup pouze z na budovách umístěných systémů. A nakonec i Řecko přišlo se svým systémem podpory solární energie (Celik et al., 2009).

V Evropě se ukazuje, jak může politika stimulovat růst fotovoltaických systémů i v regionech s průměrnými solárními zdroji energie. Příkladem může být Německo, které má velký počet realizovaných solárních systémů. V posledních letech se přidaly i další státy jako je Španělsko, Itálie, Řecko a Česká republika. V mnoha regionech však není fotovoltaika stále plně doceněna, zejména kvůli nepochopení jejího potenciálu (Šúri et al., 2007).

## **4.4. Jednotlivé státy a jejich využití solární energie**

V následující kapitole se zaměřím na jednotlivé státy Evropské unie a jejich využití solární energie. V úvahu bude vzat i místní potenciál daného státu s jeho úhrny slunečního záření, množstvím instalovaného výkonu a místními ekonomickými podmínkami podporujícími či nepodporujícími solární záření jako zdroj energie.

### **4.4.1. Německo**

Německo patří v Evropské unii mezi lídry v oblasti fotovoltaiky. Toto prvenství mu však patří i v rámci světa, kde má nejvyšší kumulativní instalovaný výkon ze všech států světa. Předběhlo i tak velké a bohaté státy jako je USA nebo Čína. V roce 2013 mělo Německo podíl celých 26 % na kumulovaném instalovaném výkonu na světě. Německo instalovalo 30% instalovaného výkonu v Evropě za rok 2013, což je sice polovina oproti létům minulým, avšak stále dominuje evropským trhům. V roce 2014 činil celkový instalovaný výkon celkem 38 301 MW (EPIA, 2014) (EurObserv'ER, 2015). Na tomto prvenství má velkou zásluhu podpora obnovitelných zdrojů prostřednictvím výkupních cen. Kritéria a úrovně sazeb jsou stanoveny v zákoně o upřednostnění obnovitelných zdrojů energie, podle kterého mají provozovatelé nárok

na platbu za elektřinu dodanou do sítě z obnovitelných zdrojů. Jak bylo zmíněno výše, tento zákon jim zaručuje stabilní výkupní ceny po dobu 20 let. Navíc provozovatelé sítí jsou povinni dát přednost obnovitelným zdrojům energie při nákupu a přenosu elektřiny. Německo poskytuje vládní podporu obnovitelných zdrojů energie pomocí školení, certifikátů a výzkumných programů a podporu sítí dálkového vytápění, pokud jde o využití tepelné energie (RES REGAL, 2012). Již bylo zmíněno, že většina území Německa patří do čtvrtého regionu, který nemá z pohledu úhrnu slunečního záření zrovna nejvýhodnější podmínky. I přes tento zjevně závažný nedostatek, je však Německo v popředí světa v oblasti využívání solární energie a to především díky velké podpoře rozvoje alternativních zdrojů energie. Po havárii jaderné elektrárny Fukušima se Německo rozhodlo zavřít všechny své jaderné elektrárny do roku 2022. Již dnes tedy pracuje na plánu získávání energie z jiných zdrojů, což jen nahrává využívání obnovitelných zdrojů a tedy i solární energie.

Z pohledu segmentace solárních systémů má Německo převahu u obytných systémů, kde má podíl 24 % na celkové instalované kapacitě, u komerčních systémů, kde jeho podíl naprosto dominuje s 38 %, mírná dominance je i u pozemních systémů, kde zabírá 31 %. Pouze u průmyslových systémů Německo nedominuje a nachází se až na třetím místě za Itálií a Řeckem a v tomto sektoru má 23%. Tyto údaje se vztahují k novým instalacím systémů v roce 2013, ne k celkovému množství již instalovaných zařízení (EPIA, 2014).

V posledních letech však dochází k očekávané stagnaci výstavby nových solárních elektráren a systémů. Od roku 2012 již Německo neposkytuje podporu pro velké fotovoltaické systémy nad 10 MW výkonu. Z tohoto důvodu již nebude do budoucna docházet k tak rychlému nárůstu výkonu jako tomu bylo v minulosti. Německo však chce dosáhnout nezávislosti na jaderné energetice a proto mírný růst se dá i nadále očekávat (RES REGAL, 2012).

#### **4.4.2. Velká Británie**

Velká Británie se v roce 2013 posunula na druhé místo v ročním instalovaném výkonu před Itálií. Tato země, ač s nepříznivými podmínkami pro získávání energie ze slunečního záření, loni nainstalovala 1,5 GW výkonu a stala se tak druhým evropským trhem se solární elektřinou (EPIA, 2014). Celkem má však instalovaný výkon 5 230 MW (EurObserv'ER, 2015). Je zde tedy vidět tendence ke zvýšené podpoře energie z obnovitelných zdrojů. V současné době se Velká Británie podílí 2% na světovém kumulativním instalovaném výkonu. Ve Spojeném království je výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů podporována prostřednictvím výkupního systému a systému kvót. Výkupní systém mohou použít výrobci se systémy s kapacitou menší



než 5 MW a mají stanovené výkupní ceny. Tento systém se vztahuje na Anglii, Wales a Skotsko. V Irsku by měl začít platit až od roku 2016. Systém kvót je pro dodavatele elektřiny s kapacitou větší než 5 MW. Ti musí svým zákazníkům dodat určitý podíl elektřiny z obnovitelných zdrojů, aby dostali zelené osvědčení o využívání obnovitelných zdrojů. Navíc zde platí daň na spotřebu fosilních paliv při jejím využívání k výrobě elektrické energie, a daň emise uhlíku. Elektrická energie z obnovitelných zdrojů je od obou těchto daní osvobozena (RES REGAL, 2012). V budoucnu se nedá očekávat výrazný rozvoj fotovoltaiky v této zemi hlavně kvůli nepříznivým slunečním podmínkám. Velká Británie má potenciál spíše pro využívání jiných obnovitelných zdrojů, kterými plánuje pokrýt svůj závazek s EU do roku 2020 - vyprodukovat určité procento spotřebované energie z obnovitelných zdrojů.

#### **4.4.3. Itálie**

Itálie se nachází na druhém místě v Evropské unii v celkovém instalovaném výkonu. Druhé místo jí však patří i rámci globálního celkového instalovaného výkonu, kde se o něj dělí spolu s Čínou, a má celých 13 % (EPIA, 2014). Celkový instalovaný výkon v Itálii je roven 18 450 MW (EurObserv'ER, 2015). V Itálii existuje také systém podpor, který zahrnuje výkupní ceny elektřiny a systémy výběrových řízení. Provozovatelé energetické sítě jsou povinni dát prioritu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů a také prioritu jejímu odeslání zákazníkům. Dále všechny nové nebo rekonstruované budovy musí nějakým způsobem integrovat OZE a veřejné budovy mají tuto povinnost ještě o 10 % vyšší. Jsou poskytovány i výhodné úvěry na podporu investic do obnovitelných zdrojů a do výstavby infrastruktury dálkového vytápění (RES REGAL, 2012). V roce 2013 byl v Itálii zaznamenán výrazný pokles výstavby nových solárních systémů a bylo instalováno pouze méně než 1,5 GW. Tím ztratila dlouholeté postavení evropské dvojky v každoročním instalovaném výkonu. Nyní se tedy nachází na třetím místě za Německem a Velkou Británií. V současné době tedy v Itálii začíná očekávaný pokles, stejně jako u Německa. V roce 2013 Itálie investovala převážně do průmyslových umístění systémů, kde zaujala 32% podíl na evropském trhu v tomto sektoru. Obytné systémy zaujaly 15% podíl, komerční 9% a na zemi umístěné pouhých 5% instalovaného výkonu za rok 2013. To je dáno převážně legislativou, jak bylo zmíněno výše. Díky výborným slunečním podmínkám na území Itálie a daným závazkům, že bude vyrábět 17 % hrubé konečné spotřeby energie z obnovitelných zdrojů do roku 2020, se dá ještě nárůst fotovoltaiky očekávat (EPIA, 2014).

#### **4.4.4. Španělsko**

Španělsko bylo v roce 2013 sesazeno ze třetího místa v celkovém instalovaném výkonu, když ho nečekaně předběhla Velká Británie. V současné době se nachází na čtvrtém místě s celkovým instalovaným výkonem 4 787 MW (EurObserv'ER, 2015). Zpomalení až zastavení výstavby a realizace nových solárních systémů bylo částečně způsobeno ekonomickou krizí, která ve Španělsku panuje v posledních několika letech. Ta způsobila pozastavení trhu s elektřinou v roce 2013, kvůli jeho nadměrné kapacitě a silné opozici proti fotovoltaickým systémům. V roce 2013 bylo do sítě připojenou pouze 118 MW nového výkonu a to i přes to, že se jedná o zemi s vysokým potenciálem pro výrobu energie ze slunečního záření (EPIA, 2014).

Hlavní režim podpory byl provozován až do konce roku 2011 a byl pozastaven na začátku roku 2012. Díky tomu v současné době neexistuje žádný režim podpory OZE a byla by potřeba alespoň regulace daňového systému pro investice spojené s obnovitelnými zdroji energie. Provozovatelé obnovitelných zdrojů mají pouze nárok na přednostní připojení do sítě. Budovy by měly splňovat minimální požadavky na solární příspěvek k ohřevu užitkové vody. Díky vysokým tarifům, které odrazují nové investory, se zdá, že Španělsko nastolilo nejvíce omezující regulace z celé Evropské unie pro spotřebu vlastní energie (RES REGAL, 2012). Díky těmto nepodporujícím politickým a ekonomickým tahům se zdá nepravděpodobná blízká vyšší investice do solárních systémů, i přes nezpochybnitelně jedny z nejlepších podmínek pro využívání tohoto obnovitelného zdroje.

#### **4.4.5. Francie**

Francie, s celkovým instalovaným výkonem 4 697 MW, se řadí také mezi státy s velkou podporou solární energie (EurObserv'ER, 2015). Část území na jihu Francie, spadající do prvního regionu, má dokonce velmi vhodné podmínky pro realizaci solárních systémů. Francie zaznamenala v roce 2013 prudký pokles v množství instalovaného výkonu, když instalovala pouze 613 MW. V minulých letech přitom vždy instalovala mnohem více, jako například v roce 2011, kdy instalovala 1,77 GW. Tento prudký pokles byl způsoben hlavně nedostatkem politické vůle rozvíjet fotovoltaiku. Vláda se rozhodla rychle zmrazit nebo snížit podporu pro tyto programy a navíc má na svědomí negativní názor na fotovoltaiku v očích veřejnosti. Vláda však v roce 2013 opět projevila svůj zájem instalovat každoročně alespoň 1 GW nového výkonu, čemuž však brání trvající omezení v rozvoji trhu (EPIA, 2014).

Dnes ve Francii existují podpory elektřiny z obnovitelných zdrojů pomocí výkupních tarifů a daňových výhod. Stejně tak výroba tepla je podporována několika systémy energetických dotací.

Neexistuje však žádná preference výkupu energie z obnovitelných zdrojů před neobnovitelnými (RES REGAL, 2012).

#### **4.4.6. Belgie**

Se svými 3 105 MW instalovaného výkonu se Belgie řadí mezi přední státy v oblasti využívání solární energie (EurObserv'ER, 2015). Tento rozlohou malý stát, i přes svou nevýhodnou polohu ve čtvrtém regionu, vyrábí poměrně velké množství energie ze solárního záření. Belgie instalovala pouze 215 MW v roce 2013 poté, co dosáhla vysoké úrovně v roce 2011 a 2012, v kontextu silných politických znepokojení nad náklady na podpůrné programy (EPIA, 2014). Elektřina z obnovitelných zdrojů je podporována především prostředním systémem kvót založeném na obchodování s certifikáty. Elektřině z obnovitelných zdrojů je dána přednost při výkupu i spotřebě v síti. Belgie dále podporuje výzkum a rozvoj v oblasti instalace a použití energie z obnovitelných zdrojů a financuje školicí programy pro instalátory OZE (RES REGAL, 2012).

#### **4.4.7. Řecko**

Řecko má výborné přírodní podmínky pro dostatek úhrnu slunečního záření. Tento důležitý faktor z něj dělá zemi s velmi příznivými podmínkami pro využívání potenciálu sluneční energie. Vysoký sluneční úhrn a závazky vůči Evropské unii z něj dělají kandidáta na velké využití solárních systémů. Řecká fotovoltaika také byla na vzestupu od roku 2008, avšak kvůli současné hospodářské krizi bohužel dochází k útlumu, protože realizace solárních systémů je drahou záležitostí. Řecko v roce 2014 disponovalo 2602 MW instalovaného výkonu, což zdaleka nenaplnuje jeho potenciál (EurObserv'ER, 2015). Díky současné krizi je to však pochopitelné (EPIA, 2014).

Elektřina z obnovitelných zdrojů je taktéž jako v ostatních zemích podporována výkupními cenami či osvobozením od daně. Obnovitelné zdroje energie pro vytápění jsou podporovány dotačním programem a jsou taktéž osvobozeny od daně. Elektřině z OZE musí být dána přednost při výkupu elektřiny. Existuje zde velké množství organizací zaměřených na podporu, rozvoj, instalace a využití obnovitelných zdrojů (RES REGAL, 2012). Do budoucna tedy stále můžeme očekávat růst zájmu o fotovoltaiku v této zemi, i přes současnou krizi. Řecko má obrovský potenciál, který je třeba využít.

#### 4.4.8. Ostatní státy EU pod 2 GW celkového instalovaného výkonu v roce 2014

Jediným státem, kromě již zmíněných, který přesahuje 2 GW instalovaného výkonu je Česká republika, o té však bude řeč až v následující kapitole, a proto zde budou zmíněny pouze ostatní státy Evropské unie mimo Českou republiku.

**Rumunsko** s celkovým instalovaným výkonem 1 292 MW a výhodnými geografickými podmínkami v rámci druhého sektoru instalovalo téměř veškerý svůj výkon během roku 2013. Tento rychlý rozvoj však pravděpodobně nebude možné udržet. Dle dostupných dat Rumunsko v roce 2014 instalovalo již pouze 270 MW nového výkonu.

**Holandsko** mělo v roce 2014 celkový instalovaný výkon 1 100 MW. Tato země instalovala jak roce 2013, tak v roce 2014 okolo 300 MW nového výkonu a proto je možné do budoucna očekávat postupný nárůst výkonu solárních systémů.

**Bulharsko** se řadí na poslední místo mezi zeměmi, které disponují celkovým instalovaným výkonem vyšším než 1 GW. Konkrétně Bulharsko má v současnosti výkon solárních systémů roven 1 019 MW. Tato země zažila boom v roce 2012, kdy instalovala 843 MW nového výkonu. Po tomto kroku však vláda zareagovala tvrdými zpětnými opatřeními, která zpomalila růst trhu. Důsledkem bylo pouhých 10 MW v roce 2013 a 1,3 MW nového instalovaného výkonu v roce 2014. S těmito opatřeními se nedá očekávat další nárůst fotovoltaiky i přes výhodnou geografickou polohu a úhrn slunečního záření.

**Rakousko** má celkový instalovaný výkon 770 MW. Zde se využívání solárních systémů teprve rozvíjí a je možno očekávat další nárůst v příštích letech.

**Dánsko** s celkovým instalovaným výkonem 601 MW se nachází na dalším místě. Tato země byla překvapením v roce 2012, když instalovala 316 MW. Boom byl ale následně zastaven změnou politiky, která snížila atraktivitu fotovoltaiky v této zemi. V roce 2014 již přibyl výkon pouze o 29 MW.

**Slovensko** zažilo boom v roce 2011 a prvním pololetí roku 2012. Poté však nastal útlum, který dodnes trvá a tato země v podstatě do fotovoltaiky již neinvestuje. S celkovým instalovaným výkonem 590 MW se nachází na dalším místě.

**Portugalsko** dodnes prochází ekonomickou krizí, přesto zde existují výborné systémy podpory obnovitelných zdrojů energie. Růst fotovoltaiky v této zemi se dá očekávat, bude však pomalý kvůli nedostatku financí, který by mohly vývoj uspišit. Portugalsko má výborné podmínky pro

využívání solární energie a tak lze očekávat výstavbu solárních systémů, které jim dopomohou dosáhnout cíle 31 % spotřebované energie vyrobené z OZE v roce 2020. Dnes činí celkový instalovaný výkon 419 MW.

**Slovinsko** instalovalo většinu svého současného výkonu v roce 2012. Konkrétně to bylo 122 MW. Poté nastal výrazný útlum, který vyústil v nový instalovaný výkon 11 MW v roce 2013 a pouhých 7 MW v roce 2014. Dnes je celkový instalovaný výkon roven 256 MW, což je vzhledem k místním dobrým slunečním úhrnům poměrně málo. Vláda totiž snížila výkupní ceny energie z obnovitelných zdrojů, a proto jsou investice do tohoto odvětví stále méně výhodné.

**Lucembursko** mělo v roce 2014 celkový instalovaný výkon roven 110 MW. Díky hornatému terénu není tato země příliš vhodná pro umístění solárních systémů, protože stínění může být značné. Proto se výraznější nárůst využívání solární energie nedá očekávat a pravděpodobněji bude upřednostněn jiný obnovitelný zdroj energie. Lucembursko je na posledním místě mezi zeměmi, které mají celkový instalovaný výkon větší než 100 MW.

**Švédsko** má velmi nepříznivé podmínky pro využívání solární energie. Hlavní podíl na OZE mají vodní a větrné elektrárny. Švédsko instaluje každý rok několik MW nového výkonu, ale jedná se řádově o jednotky. V roce 2014 byl celkový instalovaný výkon roven 79 MW.

**Litva** patří také mezi země s nepříznivými podmínkami pro fotovoltaiku. Energii získává z jiných obnovitelných zdrojů a proto rozvoj fotovoltaiky není nutný. V roce 2014 měla 68 MW instalovaného výkonu.

**Kypr** má na rozdíl od předchozích dvou zemí výborné podmínky pro rozvoj fotovoltaiky. Tu také začal po vstupu do Evropské unie pomalu rozvíjet a dnes má instalovaný výkon 65 MW. Další rozvoj se dá do budoucna očekávat.

**Malta** sdílí podobné podmínky jako Kypr i podobný výkon – 54 MW celkového instalovaného výkonu. Díky výborným slunečním úhrnům jsou zde však produkce energie výrazně vyšší než napovídá nízký instalovaný výkon. Tato země se moc nesnaží o rozvoj OZE, proto je výraznější posun kupředu v oblasti fotovoltaiky jen těžko očekáván.

**Maďarsko** také nepatří mezi významné státy na poli fotovoltaiky. Trh se zde téměř nevyvíjí a výkon ustrnul na 38 MW.

**Chorvatsko** i přes velmi příznivé podmínky má nejnižší instalovaný výkon ze všech států okolo Středozemního moře. Je roven pouze 34 MW. Tato země tedy vůbec nenaplnuje svůj potenciál, ale díky vstupu do EU by se snad do budoucna mohl vývoj fotovoltaiky zlepšit.

**Polsko** selhalo v naplnění očekávání za rok 2013. Tato země má i přes nízký sluneční úhrn určitý potenciál zejména v rozsáhlém rovinatém území, které je pro instalaci solárních systémů vhodné. V současnosti disponuje instalovaným výkonem 24 MW.

**Finsko** má, jak je zřejmé, velmi nepříznivé podmínky pro fotovoltaiku, a proto rozvoj není očekáván.

**Lotyšsko, Estonsko a Irsko** mají dohromady celkový instalovaný výkon menší než 1 MW, a proto zde není i vzhledem k podmínkám rozvoj nijak očekáván (EurObserv'ER, 2015) (EPIA, 2014) (RES REGAL, 2012).

## 5. VYUŽITÍ V ČESKÉ REPUBLICE

### 5.1. Místní podmínky

Podmínky pro využívání solární energie v České republice se řadí spíše mezi průměrné až podprůměrné v rámci Evropské unie. Je to dáno polohou České republiky v rámci evropského kontinentu. Jakožto součást střední Evropy, spadá tento stát do čtvrtého regionu, který má druhé nejhorší podmínky pro využití sluneční energie. Fotovoltaické systémy zde ročně generují okolo 700 až 800 kWh/kWp. Přitom průměrný roční úhrn slunečního záření se zde pohybuje od 950 až do 1100 kWh/m<sup>2</sup>. Tyto hodnoty jsou silně ovlivněny zeměpisnou šířkou, protože jak již bylo zmíněno dříve, zeměpisná šířka ovlivňuje délku slunečního svitu, množství energie, které dopadne na jednotku plochy a také i místní klimatické podmínky jako je oblačnost. Nejlepší podmínky s nejvyššími ročními úhrny slunečního záření panují na jižní Moravě. Tato oblast je známá svými vysokými letními teplotami a slunečnými dny. Naopak nejhorší podmínky se nacházejí na severozápadě České republiky. Díky malé rozloze tohoto státu však úhrny nejsou nějak významně rozdílné. Samozřejmě je výhodnější umístit solární zařízení do oblasti s co nejvyšší slunečním úhrnem, ale ani ty nejvíce nepříznivé oblasti České republiky nebudou generovat významně méně energie (Czech RE Agency, 2009) (Šúri et al., 2007).

Dalším důležitým faktorem je tvar terénu. Hornatý terén je pro výstavbu solárních systémů méně vhodný ze zřejmého důvodu, totiž že zde může docházet k významnému stínění. Již dříve bylo zmíněno, jak velký význam tento faktor má. Česká republika však má hornatý terén spíše pouze na hranicích, kde jsou méně příznivé podmínky z hlediska slunečního záření, a proto má dostatek jiných míst, kde mohou být solární systémy umístěny. Z tohoto hlediska, má tedy výhodné geomorfologické podmínky.

## 5.2. Systém podpory

V České republice jsou obnovitelné zdroje podporovány buď prostřednictvím garantované výkupní ceny, nebo zeleným bonusem. Provozovatelé zařízení na výrobu energie z obnovitelných zdrojů si mohou sami vybrat, kterou možnost zvolí. Provozovatelé také mají nárok na přednostní připojení do sítě. Teplo vyrobené z obnovitelných zdrojů energie je také podporováno prostřednictvím dotací v rámci dvou operačních programů a navíc jsou teplárny osvobozeny od daně z nemovitosti. V současné době Česká republika zavedla stavební povinnost pro využití obnovitelných zdrojů energie k vytápění (RES REGAL, 2012).

**Zelený bonus** je dotace, kterou vyplácí stát za veškerou vyrobenou energii z obnovitelných zdrojů. Vyplácí tuto dotaci jak za elektřinu, kterou dodá provozovatel do sítě, tak za tu, kterou sám spotřebuje. Hlavní nevýhodou této dotace, je nutnost sehnat si odběratele energie sám ze svých zdrojů. Tento odběratel od provozovatele odkoupí přebytečnou energii. Cena, za kterou je energie odkoupena, však nepodléhá regulacím a její výše záleží pouze na dohodě mezi oběma stranami. Zelený bonus je poté inkasován od provozovatele distribuční soustavy. Tento typ podpory je vhodný pro domácnosti se střešními panely a pro ty, kdo mají v domě vyšší spotřebu energie.

**Garantovaná výkupní cena** se vyplatí zejména pro ty, kdo veškerou vyrobenou energii prodávají a sami ji nespotřebovávají. Tímto bonusem může provozovatel prodat energii vyrobenou z OZE jednomu z hlavních distributorů elektřiny, tedy ČEZ, E.ON či PRE. Ten ji má povinnost odkoupit za stanovenou výkupní cenu. Výše výkupní ceny bývá o trochu větší než u zeleného bonusu, ale pokud provozovatel energii i spotřebovává, je pro něj výhodnější pořízení zeleného bonusu (Fotovoltaika, 2011) (AGENCY, 2010).

## 5.3. Vývoj využití solární energie

Česká republika patří v současnosti mezi přední země v množství instalovaného výkonu solárních systémů v Evropské unii. V roce 2014 byl celkový instalovaný výkon roven 2 031 MW. Česká republika zažila největší boom výstavby nových solárních systémů v roce 2010, kdy zejména štědré dotace a vysoké výkupní ceny mely za následek masivní výstavbu solárních elektráren. V té době se výkon zvýšil o 1 494 MW. V následujících letech se výkon zvýšil jen o několik desítek MW, a nebyl proto nijak významný (EPIA, 2014) (EurObserv'ER, 2015).

Od boomu v roce 2010 se změnily i podmínky dotací a byly výrazně sníženy výkupní ceny solární energie. Nový instalovaný výkon se tak ve většině případů skládá z menších střešních

instalací než z velkých solárních elektráren umístěných na zemi, které převažovaly v roce 2009 a 2010. Byla zavedena solární daň, která zpětně zdanila všechny velké elektrárny nad 30 kWp postavené v roce 2009 a 2010. Tato daň byla zavedena na tři roky s platností od roku 2011 do roku 2013. Celá tato kauza poškodila solární energii v očích veřejnosti. Podle dostupných informací bylo od počátku manipulováno s výkupními cenami, což se odrazilo ve vysoké ceně elektřiny pro spotřebitele. Tato kauza je velmi složitá a není předmětem této práce, proto zde byla jen krátce nastíněna (Morkes, 2013).

Do budoucna lze očekávat nárůst solárních systémů zejména v oblasti instalace menších střešních systémů. Stejný boom jako v roce 2010 nelze očekávat a ani výstavba velkých solárních parků se nezdá směřem, kterým se bude fotovoltaika ČR ubírat. Česká republika by měla do roku 2020 mít 13 % spotřebované energie vyrobené z obnovitelných zdrojů. Zejména díky solárnímu boomu v roce 2010 se Česká republika výrazně přiblížila svému stanovenému cíli. V roce 2008 byl podíl OZE jen 5,2 % a v roce 2012 se již dostal na 11,6 %. Tento stát je tedy blízko splnění svých závazků. Pravděpodobně však bude zbytek závazku pokryt energií z jiných obnovitelných zdrojů než ze solární energie (Budín, 2015).

## **6. PŘÍPADOVÁ STUDIE**

### **6.1. Úvod**

Tato případová studie byla vytvořena proto, aby se dalo lépe porozumět místním podmínkám České republiky pro využívání solárních systémů. Existující mapy, které ukazují sluneční úhrny, jsou často vypracované pro jednotlivé měsíce, kdy však není možné tyto měsíce vzájemně porovnávat. Každý měsíc totiž má své specifické minimum a maximum, a při barevném provedení každý měsíc nabývá relativně stejných odstínů barev. Z tohoto důvodu byly úpravou v programu GIS tyto mapy převedeny na stejné číselné rozsahy, obsahující všechny hodnoty, kterých mapy nabývají. Je tak možné vzájemně porovnat, které měsíce jsou si celkovými úhrny slunečních záření podobné a které naopak vynikají, ať už nejvyššími slunečními úhrny, tak i nejnižšími. Dále jsou zde i mapy znázorňující vybrané území Prahy s jeho budovami, které taktéž ukazují množství slunečního záření, které dopadne jak na budovy, tak do zastíněných ulic. Tyto mapy jsou zvláště užitečné pro případnou realizaci menších domovních solárních systémů. Díky intenzitě barev je totiž vidět, které střechy nebo které části domů obdrží nejvíce sluneční energie. Pro úplnost jsou pak připojeny i mapy pro dva měsíce



s nejvyšší a nejnižší celkovou dopadenou radiací. A taktéž celkové roční úhrny slunečního záření na celém území ČR.

## **6.2. Metodika**

### **6.2.1. PVGIS**

K vypracování této části případové studie byly použity již existující mapy, které byly posléze upraveny v programu GIS, tak aby lépe odpovídaly zadaným podmínkám. Existující mapy byly vytvořeny společností Joint Research Centre, která pracuje pro European Commision. Zkratkou jsou nazývány PVGIS, tedy fotovoltaický geografický informační systém. Tyto mapy byly vytvořeny z dat získaných v letech 1998-2011. Konkrétně se jedná o měsíční a roční průměry globálního záření a související klimatické parametry. Tato databáze se skládá ze čtverců s rozlišením 1 x 1 km. PVGIS byl vytvořen za účelem splnit požadavky, které dosavadní existující systémy postrádaly. Mezi tyto požadavky patří otevřená data a softwarová architektura, klimatické a geografické údaje s vyšším prostorovým rozlišením, integrace do systému GIS a mapové rozhraní založené na poskytování snadno pochopitelných informací i pro neodborníky. Tento systém spojuje dlouhodobé zkušenosti z laboratorního výzkumu, monitorování a testování s geografickými znalostmi. Hlavními vstupními parametry jsou úhrny slunečního záření z 566 pozemních meteorologických stanic spolu s poměrem difuzního záření z těch samých stanic, atmosférický zákal a digitální model terénu. Dále modely obsahují i data o stínění místními terénními prvky (Šúri et al., 2007).

Z databáze PVGIS můžeme získat data průměrných měsíčních slunečních úhrnů a průměrné roční úhrny z měřených let. Tato data jsou získána z průměrů denních globálních radiací na vodorovném povrchu, poměru difuzního ke globálnímu horizontálnímu záření a indexu clear-sky, který charakterizuje zákal oblohy. Data pro GIS byla získána z webové stránky Joint Research Centre a lze získat data v několika odlišných parametrech. Jak již bylo uvedeno, data je možné získat buď roční, nebo pro jednotlivé měsíce. Dalším parametrem, který je neméně důležitý je, že data jsou vypočítána pro horizontální povrch, optimálně skloněný povrch či pro systém se sledovačem dráhy slunce. Každý si tedy může stáhnout soubor dat, který se mu nejvíce hodí. V mém případě se jednalo o data pro roční i měsíční úhrny slunečního záření na horizontálním povrchu (JRC, 2013).

## 6.2.2. ArcGIS

V této části případové studie byla v programu ArcGIS v nástroji Spatial Analyst vytvořena mapa rozložení množství slunečního záření pro vybrané území hlavního města Prahy. Tento nástroj dokáže provádět výpočty pro jednotlivé body i pro celé geografické oblasti. K výpočtům používá součet přímého a difusního záření. Vzhledem k významnému ovlivnění záření topografií terénu a povrchovými vlastnostmi, je nutné znát jako vstupní data digitální model povrchu (Dubayah & Rich, 1995). Po zadání vstupního digitálního modelu povrchu systém počítá, které části povrchu jsou stíněné a které nikoliv. Do výpočtu je zahrnuta doba dne a tedy slunečního svitu, počet dní v měsíci a roce a také se výpočet odvíjí od dráhy Slunce na obloze během dne. Po sečtení a spočítání všech těchto faktorů, je systém schopen vytvořit mapu, které znázorňuje průměrné množství záření dopadené na určitou plochu. Výsledky mohou být pro jednotlivé měsíce i pro rok (ArcGIS, 2012) (Dubayah & Rich, 1996) (Rich et al, 1994).

### 6.2.2.1. ArcGIS: Area Solar Radiation

Pro tuto analýzu byla vybrána část hlavního města Prahy, jejíž součástí je i Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. Nejdříve byl do ArcGIS zadán digitální model povrchu, který byl získán z Geoportal Praha. Digitální model povrchu byl vytvořen na základě leteckého snímkování a jsou na něm zachyceny budovy, městská zeleň, terén i mosty (Geoportal Praha, 2010). Po zadání vstupních dat ArcGIS vypočítal, podle výše zmíněného postupu, průměrné úhrny slunečního záření na všech plochách. Vzniklá mapa byla upravena tak, aby se daly barevně odlišit plochy s vysokými hodnotami energie dopadené na jednotku plochy, od těch významně zastíněných a tedy s malými hodnotami energie na jednotku plochy. Výsledek byl udán v jednotkách  $\text{Wh/m}^2$  a byl zpracován jak pro jednotlivé měsíce, tak i pro celkovou roční energii na metr čtvereční (ArcGIS, 2012) (Rich et al, 1994).

### 6.2.2.2. ArcGIS: Point Solar Radiation

Výpočet této metody je mnohem jednodušší, protože se jedná jen o jediný bod. Je třeba také znát digitální model terénu, aby bylo možné určit čím, a jak moc je daná oblast stíněná. Dále výpočet probíhá podle již vysvětleného postupu. V této případové studii byl výpočet použit pro oblast Ústavu pro životní prostředí PřF UK v ulici Benátská 2. Toto místo bylo zvoleno z důvodu umístění solárního senzoru Univerzity v této budově. Po získání výsledků dvanácti průměrných měsíčních hodnot energie v tomto bodě pomocí programu ArcGIS, byly tyto výsledky srovnány s průměrnými měsíčními hodnotami energie získanými z univerzitního

solárního senzoru. Tento senzor se jmenuje Solar Radiation Sensor 6450 Vantage Pro2. Přístroj měří průměrný sluneční výkon dopadený na jednotku plochy v intervalech 10 minut. Pro každou hodinu roku tedy bylo získáno 6 hodnot. Rozsah spektra pro tento senzor je 400-1100 nm. Po výpočtu průměrné měsíční energie byly získány výsledky v jednotkách  $\text{Wh/m}^2$ , které mohly být srovnány s těmi, která vypočítal program ArcGIS, podle zadaného digitálního modelu terénu (Davis Instruments, 2010).

### 6.3. Výsledky

Výsledky všech částí případové studie jsou přiloženy v přílohách na konci této práce.

V příloze A se nachází mapy vytvořené z mapových podkladů PVGIS. Příloha A.1 ukazuje dvanáct map pro jednotlivé měsíce v roce, které znázorňují průměrné množství energie ze slunečního záření na jednotku plochy. Jedná se o horizontálně orientovanou plochu vůči dopadajícím slunečním paprskům. Mapy byly barevně odlišeny tak, aby znázorňovaly jednotlivé rozdíly v množství energie a jejich postupný nárůst a úbytek během roku. V příloze A.2 se nachází dvě mapy, které vychází ze stejných podkladů. Rozdíl mezi nimi je ve škále hodnot, kterých barvy nabývají, a proto je nelze vzájemně porovnávat. Pro tuto přílohu byly vybrány mapy znázorňující měsíc s nejnižšími a nejvyššími příjmy energie ze slunce. Nakonec v příloze A.3 se nachází jediná mapa, která znázorňuje průměrné množství energie ze slunce na území České republiky během roku. Tato mapa názorně ukazuje, které území státu získá nejvíce sluneční energie, a na které naopak nejméně, jelikož je vytvořena z průměrných ročních hodnot naměřených za 13 let.

Příloha B obsahuje mapy, které byly vytvořeny v programu ArcGIS v nástroji Area Solar Radiation. Jedná se o model povrchu části Prahy, který znázorňuje, které oblasti přijmou nejvíce energie ze slunce, a které nejméně. V příloze B.1 se nachází mapy pro jednotlivé měsíce roku, které je možné vzájemně porovnávat, díky stejné škále hodnot nastavené pro jednotlivé barvy. Podle této mapy tak mohou být vidět místa, často střechy budov, které přijmou poměrně velké množství energie i v méně příznivých měsících. Příloha B.2 poté znázorňuje celkové průměrné množství energie na jednotku plochy za rok. Zde jsou tak vidět vysoké rozdíly v hodnotách, kterých různá místa nabývají.

Na závěr v příloze C se nachází graf, který potvrzuje přesnost výpočtu měření programu ArcGIS a jeho nástroje Point Solar Radiation. Hodnoty naměřené programem ArcGIS jsou zde porovnávány s hodnotami naměřenými solárním senzorem umístěným přímo v tomto místě. Konkrétně se jedná o průměrné měsíční hodnoty energie, vypočítané v GIS, s průměrnými

měsíčními hodnotami za rok 2014, vypočítanými ze záznamů měření solárního senzoru. Graf ukazuje, že přesnost výpočtu je poměrně velmi spolehlivá.

## 7. ZÁVĚR

Solární energie patří v současné době mezi nejperspektivnější zdroje obnovitelné energie. I přes obrovské množství energie, které každoročně na Zemi dopadne ze Slunce, je však lidmi využita pouze malá část. Je to způsobeno především neúčinnými technologiemi a také nevhodnými geografickými podmínkami panujícími na většině území.

V této práci byly zanalyzovány faktory ovlivňující umístění solárních systémů. Jednalo se o polohu a sklon panelů vůči přicházejícím slunečním paprskům, stejně tak jako o ekonomické prostředky jednotlivých zemí Evropské unie. Jednotlivé státy byly rozebrány z hlediska instalovaného výkonu i místních podpůrných systémů. Dále byla rozebrána legislativa Evropské unie týkající se obnovitelných zdrojů energie. České republice byla věnována zvláštní pozornost a byla podrobněji analyzována její situace z pohledu instalace solárních systémů a místních podpůrných prostředků. Z tohoto důvodu byla pro Českou republiku vypracována případová studie týkající se analýzy území celého státu i části Prahy z pohledu množství dopadené energie.

Tato práce může být využita k získání základních informací o solárních systémech a k získání aktuálních informací o využívání solárních systémů v Evropské unii. Každému členskému státu je věnován prostor odpovídající jeho instalovanému výkonu a pravděpodobné budoucnosti v oblasti vývoje a instalace nových systémů. Případová studie pak může posloužit jako podklad pro případné umístění solárních systémů.

## 8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

EJ	exajoule ( $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$ )
EU	Evropská unie
GIS	Geografický informační systém (Geographical Information System)
HDP	hrubý domácí produkt
kWp	kilowatt peak – výkon fotovoltaické elektrárny při standardních testovacích podmínkách
OSN	Organizace spojených národů (United Nations)
OZE	obnovitelné zdroje energie
PřF UK	Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy
PVGIS	Fotovoltaický geografický informační systém (Photovoltaic Geographical Information System)

## 9. SEZNAM LITERATURY

AGENCY, International Energy. *The Czech Republic 2010 review*. 1. Aufl. Paris: OECD/IEA, 2010. ISBN 9789264094703.

ANGELIS-DIMAKIS, Athanasios, Markus BIBERACHER, Javier DOMINGUEZ, Giulia FIORESE, Sabine GADOCHA, Edgard GNANSOUNOU, Giorgio GUARISO, Avraam KARTALIDIS, Luis PANICHELLI, et al. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2011, 15(2): 1182-1200 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1016/j.rser.2010.09.049.

ARCGIS. Modeling solar radiation. *ArcGIS* [online]. 2012 [cit. 2015-07-31]. Dostupné z: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009z000000t9000000>

BAS, Levent. The Effect of Azimuth Angle on Energy Output. *CIVICSOLAR* [online]. 2010 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://www.civicsolar.com/resource/effect-azimuth-angle-energy-output>

BECHNÍK, Bronislav. Obnovitelné zdroje: indikativní cíl 8 % elektřiny v roce 2010 splněn. *Tzbinfo* [online]. 2011 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/energeticka-politika/7240-obnovitelne-zdroje-indikativni-cil-8-elektriny-v-roce-2010-splnen>

BECHNÍK, Bronislav. Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů. *Tzbinfo* [online]. 2014 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>

BERANOVSKÝ, Jiří, Jan TRUXA, Jaroslav JAKUBES, Helena SOUČKOVÁ, Libor ŠAMÁNEK, Vlastimil MYSLIL, Michal STIBITZ a Linda FRITSCHOVÁ. EKOWATT. *Metody hodnocení vhodnosti a výtěžnosti obnovitelných zdrojů energie* [online]. 2000 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: [http://new.ekowatt.cz/upload/185e8ebf18feb4362c73f87f56e58606/97Metodika\\_oze\\_doplnena.ppp](http://new.ekowatt.cz/upload/185e8ebf18feb4362c73f87f56e58606/97Metodika_oze_doplnena.ppp)

BUDÍN, Jan. Žebříček deseti evropských států s největším podílem OZE. *O Energetice* [online]. 2015 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/zebricek-deseti-evropskych-statu-s-nejvetsim-podilem-oze/>

CELIK, Ali Naci, Tariq MUNEER a Peter CLARKE. A review of installed solar photovoltaic and thermal collector capacities in relation to solar potential for the EU-15. *Renewable Energy* [online]. 2009, 34(3): 849-856 [cit. 2015-07-27]. DOI: 10.1016/j.renene.2008.05.025.

CZECH RE AGENCY. Fotovoltaika v ČR: Přírodní podmínky. *Česká agentura pro obnovitelné zdroje* [online]. 2009 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#podminky>

- ČVUT. Vliv stínění FV panelů. ČVUT. *České vysoké učení technické v Praze: Stavební fakulta* [online]. 2015 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://fotovoltaika.fsv.cvut.cz/download/Ostatni/Vliv%20stineni%20FV%20panelu.pdf>
- DAVIS INSTRUMENTS. *Solar Radiation Sensor 6450: Vantage Pro2™ Accessories*. USA, 2010.
- DUBAYAH, R. and P.M. RICH. 1996. GIS-based solar radiation modeling. pp 129-134. In: MJ. Goodchild, L.T. Steyaert, B.O. Parks. C. Johnston, D. Maidment, M. Crane, and S. Glendinning (eds). *GIS and environmental modeling: progress and research issues*. GIS World Books. Fort Collins, Co.
- DUBAYAH, RALPH a PAUL M. RICH. Topographic solar radiation models for GIS. *International journal of geographical information systems* [online]. 1995, 9(4): 405-419 [cit. 2015-08-03]. DOI: 10.1080/02693799508902046.
- EPIA. *Global Market Outlook: For Photovoltaics 2014-2018* [online]. 2014 [cit. 2015-07-27]. ISBN 9789082228403. Dostupné z: [http://www.epia.org/index.php?eID=tx\\_nawsecuredl&u=0&file=/uploads/tx\\_epiapublications/44\\_epia\\_gmo\\_report\\_ver\\_17\\_mr.pdf&t=1438082623&hash=aa8ec717fa163be1f9b0eba3ff127a3ac07215fa](http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=/uploads/tx_epiapublications/44_epia_gmo_report_ver_17_mr.pdf&t=1438082623&hash=aa8ec717fa163be1f9b0eba3ff127a3ac07215fa)
- EUROBSERV'ER. Photovoltaic Barometer 2015. EUROBSERV'ER. *Energies-renouvelables.org* [online]. 2015 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/EurObservER-barojdpv13-Photovoltaic-Barometer-2015-EN.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/EurObservER-barojdpv13-Photovoltaic-Barometer-2015-EN.pdf)
- EUROPEAN COMMISSION. ENERGY FOR THE FUTURE: RENEWABLE SOURCES OF ENERGY: White Paper for a Community Strategy and Action Plan. *Communication from the Commission*. 1997. Dostupné také z: [http://europa.eu/documents/comm/white\\_papers/pdf/com97\\_599\\_en.pdf](http://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com97_599_en.pdf)
- EUROPEAN COMMISSION. New map shows solar electricity potential of European regions. *European Commission* [online]. 2007 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-07-447\\_en.htm?locale=en](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-07-447_en.htm?locale=en)
- FOTOVOLTAIKA. Dotace na fotovoltaiku: Garantovaná výkupní cena solární elektřiny. *Fotovoltaika: Průvodce světem fotovoltaiických panelů a solárních systémů* [online]. 2011 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaika-panely.com/dotace-fotovoltaiika-vykupni-cena/>
- GEOPORTAL PRAHA. 3D model - digitální model. *Geoportal Praha* [online]. 2010 [cit. 2015-07-31]. Dostupné z: [http://www.geoportalpraha.cz/cs/clanek/6/3d-model-digitalni-model-zastavby-a-zelene#.Vbugm\\_ntlBc](http://www.geoportalpraha.cz/cs/clanek/6/3d-model-digitalni-model-zastavby-a-zelene#.Vbugm_ntlBc)
- GOLDEMBERG, José. World energy assessment: energy and the challenge of sustainability. New York, NY: United Nations Development Programme, c2000, vii, 508 p. ISBN 9211261260.

- HASNAIN, Syed M. a Saleh A. ALAJLAN. Coupling of PV-powered RO brackish water desalination plant with solar stills. *Desalination* [online]. 1998,116(1): 57-64 [cit. 2015-07-26]. DOI: 10.1016/s0011-9164(98)00057-5.
- HONSBURG, Christiana a Stuart BOWDEN. Atmospheric Effects. *PVEducation.org* [online]. 2014 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/atmospheric-effects>
- HONSBURG, Christiana a Stuart BOWDEN. Azimuth Angle. *PVEducation.org* [online]. 2014 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/azimuth-angle>
- HUMPHREYS, Mick. Solar Thermal Collectors. *Apricus: Solar hot water* [online]. 2015 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: [http://www.apricus.com/solar-thermal-collectors.html#.VaTLu\\_ntlBc](http://www.apricus.com/solar-thermal-collectors.html#.VaTLu_ntlBc)
- IEA. *Key World Energy Statistics 2014* [online]. 2014 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>
- JRC. Ground-station based solar radiation data. *Joint Research Center: Institute for Energy and Transport* [online]. 2013 [cit. 2015-07-28]. Dostupné z: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/download/solar\\_radiation\\_classic\\_laea\\_download.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/download/solar_radiation_classic_laea_download.html)
- JRC. Posters and maps of solar resource and photovoltaic electricity potential. *Joint Research Center: Institute for Energy and Transport* [online]. 2012 [cit. 2015-07-28]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>
- KALOGIROU, Soteris A. Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. 2004, 30(3): 231-295 [cit. 2015-07-27]. DOI: 10.1016/j.pecs.2004.02.001.
- KEREBEL, Cécile. Energie z obnovitelných zdrojů. *Evropský parlament* [online]. 2015 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: [http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/cs/displayFtu.html?ftuId=FTU\\_5.7.4.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/cs/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.4.html)
- KUSALA, Jaroslav. Fotovoltaický jev. ČEZ. *ČEZ* [online]. 2006 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>
- LACIS, Andrew a James HANSEN. A Parameterization for the Absorption of Solar Radiation in the Earth's Atmosphere. *Journal of the atmospheric sciences* [online]. 1973 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Teaching/Modclim2010a/LacisHansen74.pdf>
- LAZAROIU, George Cristian, Michela LONGO, Mariacristina ROSCIA a Mario PAGANO. Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption. *Energy Conversion and Management*[online]. 2015, 92: 143-148 [cit. 2015-07-26]. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.12.046.
- MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 254 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3525-2, str. 26.



- MEHLERI, E.D., P.L. ZERVAS, H. SARIMVEIS, J.A. PALYVOS a N.C. MARKATOS. Determination of the optimal tilt angle and orientation for solar photovoltaic arrays. *Renewable Energy* [online]. 2010, 35(11): 2468-2475 [cit. 2015-07-26]. DOI: 10.1016/j.renene.2010.03.006.
- MOGHADAM, Hamid a Saeed Moghadam DEYMEH. Determination of optimum location and tilt angle of solar collector on the roof of buildings with regard to shadow of adjacent neighbors. *Sustainable Cities and Society* [online]. 2015, 14: 215-222 [cit. 2015-07-26]. DOI: 10.1016/j.scs.2014.09.009.
- MORKES, Jan. Velké shrnutí solárního podvodu: Viník není a nebude. *NaZeleno.cz* [online]. 2013 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/fotovoltaika/velke-shrnuti-solarniho-podvodu-vinik-neni-a-nebude.aspx>
- MOUSAZADEH, Hossein, Alireza KEYHANI, Arzhang JAVADI, Hossein MOBLI, Karen ABRINIA a Ahmad SHARIFI. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2009, 13(8): 1800-1818 [cit. 2015-07-26]. DOI: 10.1016/j.rser.2009.01.022.
- MPAGALILE, J.J., M.A. HANNA a R. WEBER. Design and testing of a solar photovoltaic operated multi-seeds oil press. *Renewable Energy* [online]. 2006, 31(12): 1855-1866 [cit. 2015-07-26]. DOI: 10.1016/j.renene.2005.09.025.
- NUNEZ, Christina. How Green Are Those Solar Panels, Really? *National Geographic* [online]. 2014 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2014/11/141111-solar-panel-manufacturing-sustainability-ranking/>
- PARIDA, Bhubaneswari, S. INIYAN a Ranko GOIC. A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2011, 15(3): 1625-1636 [cit. 2015-07-26]. DOI: 10.1016/j.rser.2010.11.032.
- PIDWIRNY, Michael. Atmospheric effects on incoming solar radiation. *The Encyclopedia of Earth* [online]. 2007 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://www.eoearth.org/view/article/150298>
- QUESADA, Guillermo, Laura GUILLON, Daniel R. ROUSSE, Mostafa MEHRTASH, Yvan DUTIL a Pierre-Luc PARADIS. Tracking strategy for photovoltaic solar systems in high latitudes. *Energy Conversion and Management* [online]. 2015, 103: 147-156 [cit. 2015-07-26]. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.06.041.
- RES LEGAL. Summary. *RES LEGAL: Legal sources on renewable energy* [online]. 2012 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: <http://www.res-legal.eu/search-by-country/>
- RICH, P.M., R. DUBAYAH, W.A. HETRICK, and S.C. SAVING. 1994. Using viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers. pp 524–529.

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/72/ES: o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou a o zrušení směrnice 2003/54/ES. *Úřední věstník Evropské unie*. 2009. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0055:0093:CS:PDF>

Solární energie.info. Termické solární kolektory (panely). *Solární energie.info* [online]. 2015 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: <http://www.solarni-energie.info/termicke-solarni-panely-kolektory.php>

ŠŮRI, Marcel, Thomas A. HULD, Ewan D. DUNLOP a Heinz A. OSSENBRINK. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy* [online]. 2007, 81(10): 1295-1305 [cit. 2015-07-27]. DOI: 10.1016/j.solener.2006.12.007.

TESTER, Jefferson W. *Sustainable energy: choosing among options*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2005, xxiii, 846 p. ISBN 0262201534.

Ucsusa.org. Environmental Impacts of Solar Power. *Union of Concerned Scientist: Science for healthy planet and safer world* [online]. 2013 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: [http://www.ucsusa.org/clean\\_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-solar-power.html#.VaJtp\\_ntlBd](http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-solar-power.html#.VaJtp_ntlBd)

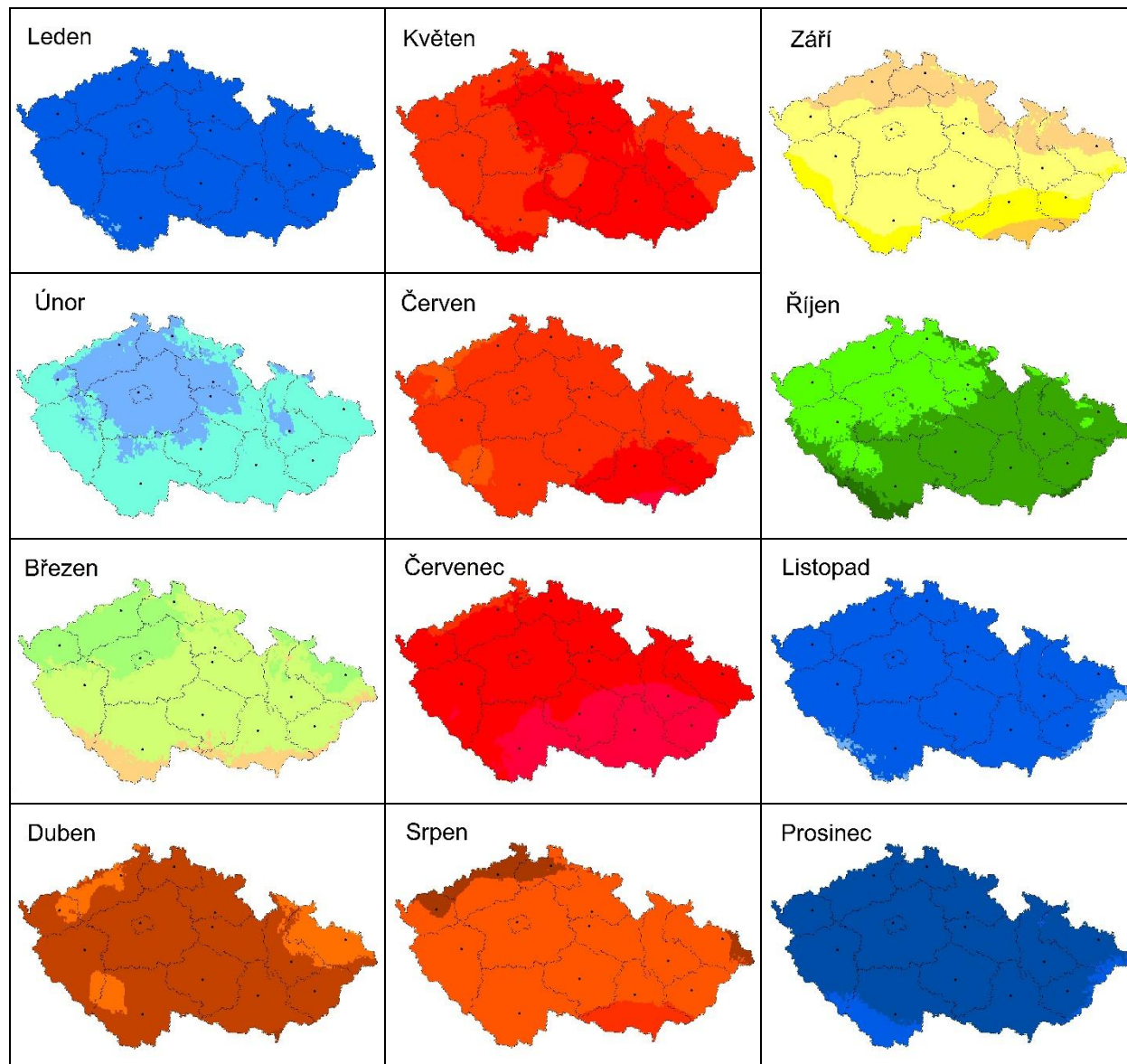
United Nations. Kyoto Protocol. *United Nations: Framework Convention on Climate Change* [online]. 2014 [cit. 2015-07-27]. Dostupné z: [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)

VZT.Art. Umístění fotovoltaických systémů. *VZT.Art* [online]. 2015 [cit. 2015-07-26]. Dostupné z: <http://www.vztart.cz/umisteni-fotovoltaickych-systemu/>

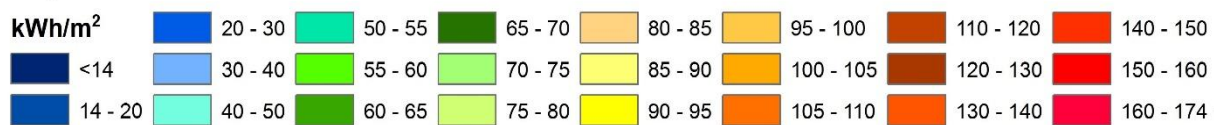
*Země: [počasí, lesy, ledovce, pouště, hory, řeky, oceány, sopky: nejrozsáhlejší obrazový průvodce naší planetou]*. Vyd. 2. V Praze: Knižní klub, 2009, 520 s. ISBN 978-80-242-2620-0.

# PŘÍLOHA A: MAPY PVGIS

## A.1. Celkové měsíční úhrny slunečního záření na horizontální ploše pro Českou republiku

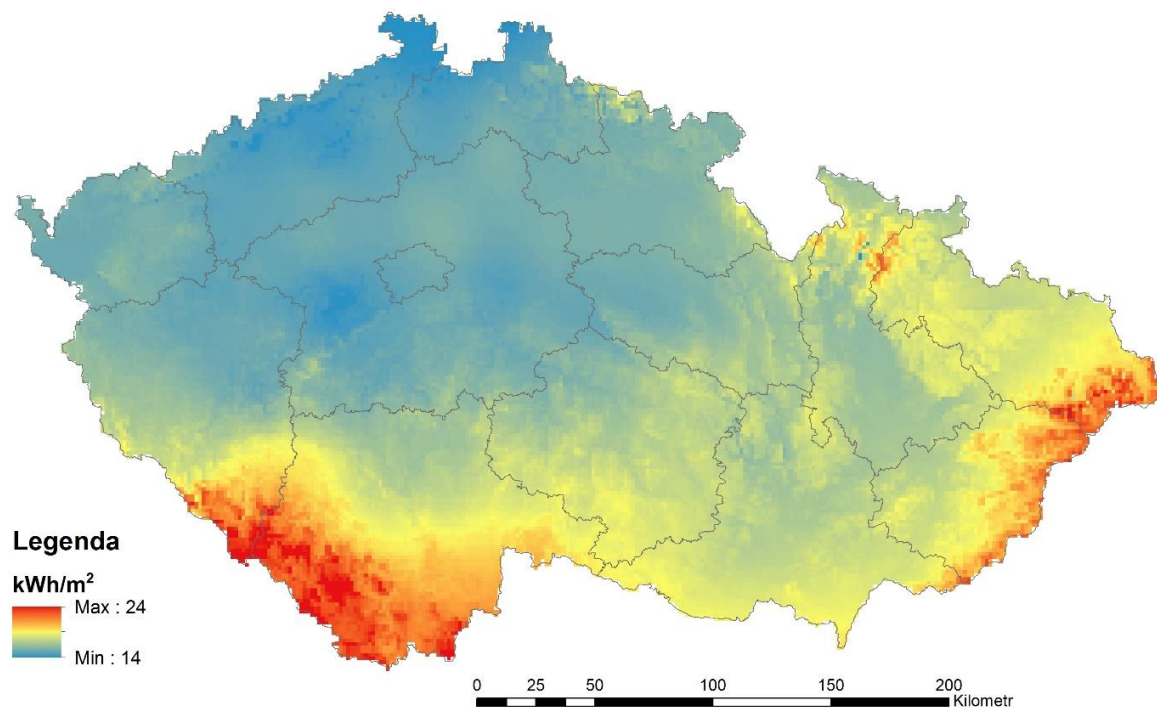


### Legenda

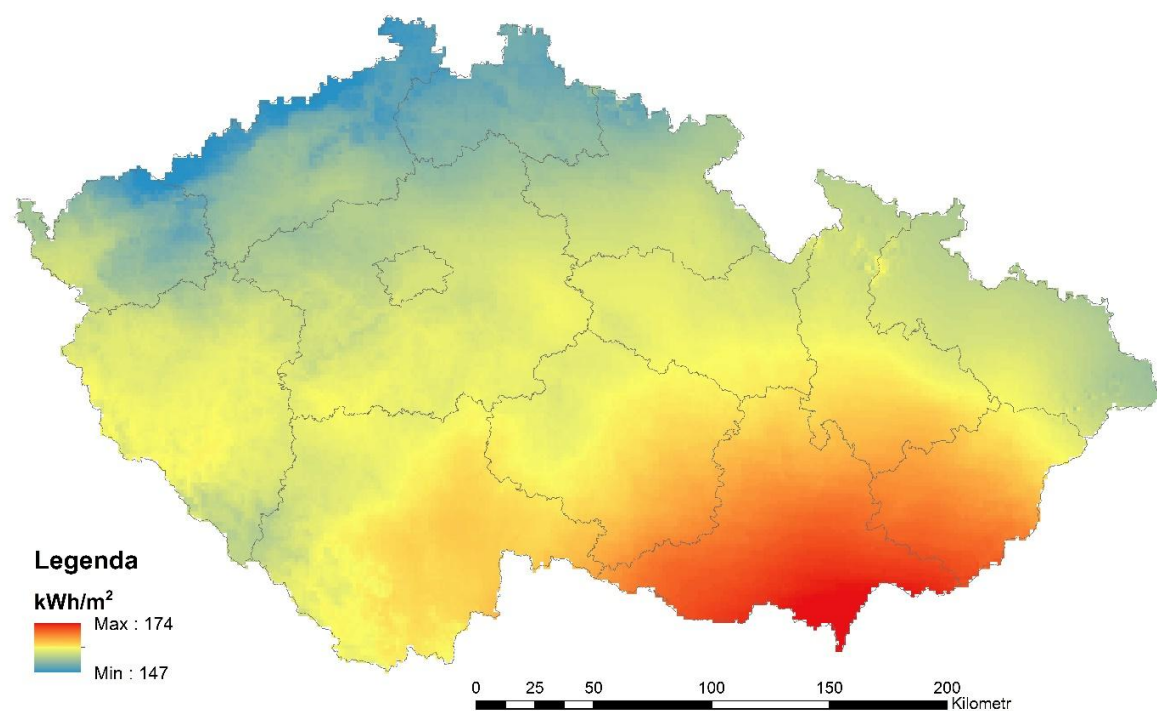


## A.2. Celkové úhrny slunečního záření pro měsíc s nejnižšími a nejvyššími hodnotami energie na metr čtvereční

### Měsíční radiace - prosinec

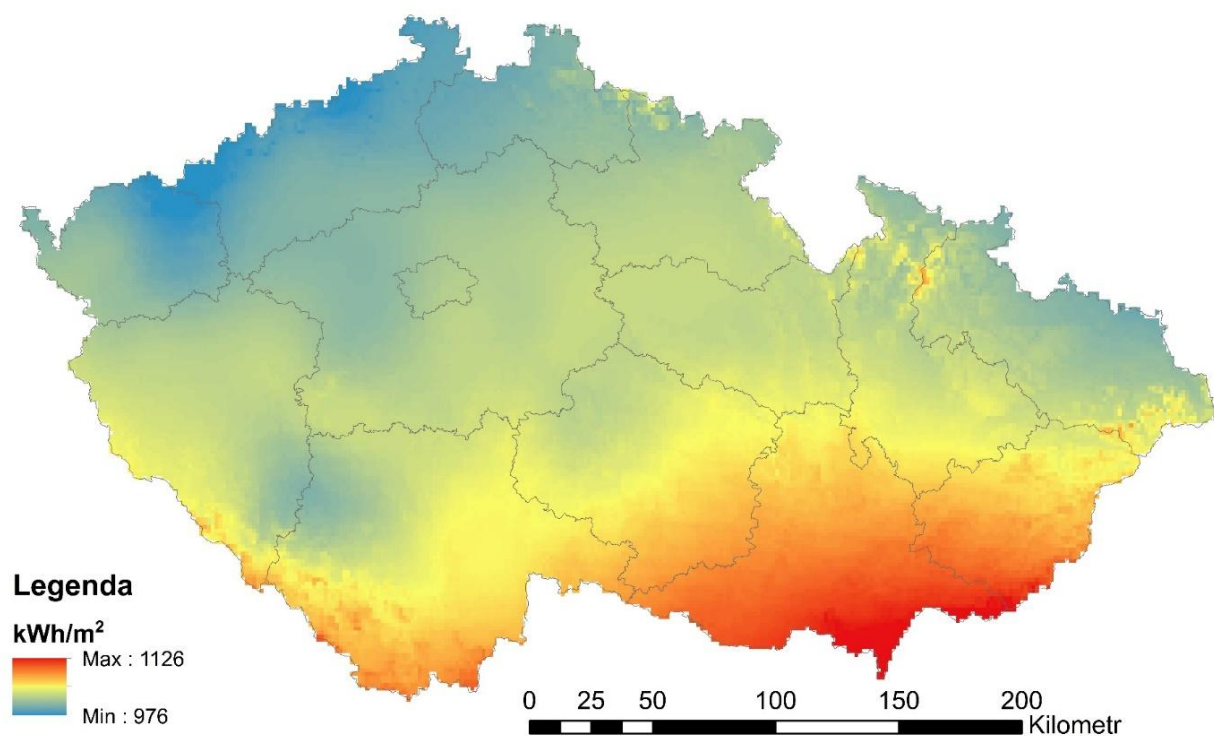


### Měsíční radiace - červenec



### A.3. Celkový roční úhrn slunečního záření v České republice

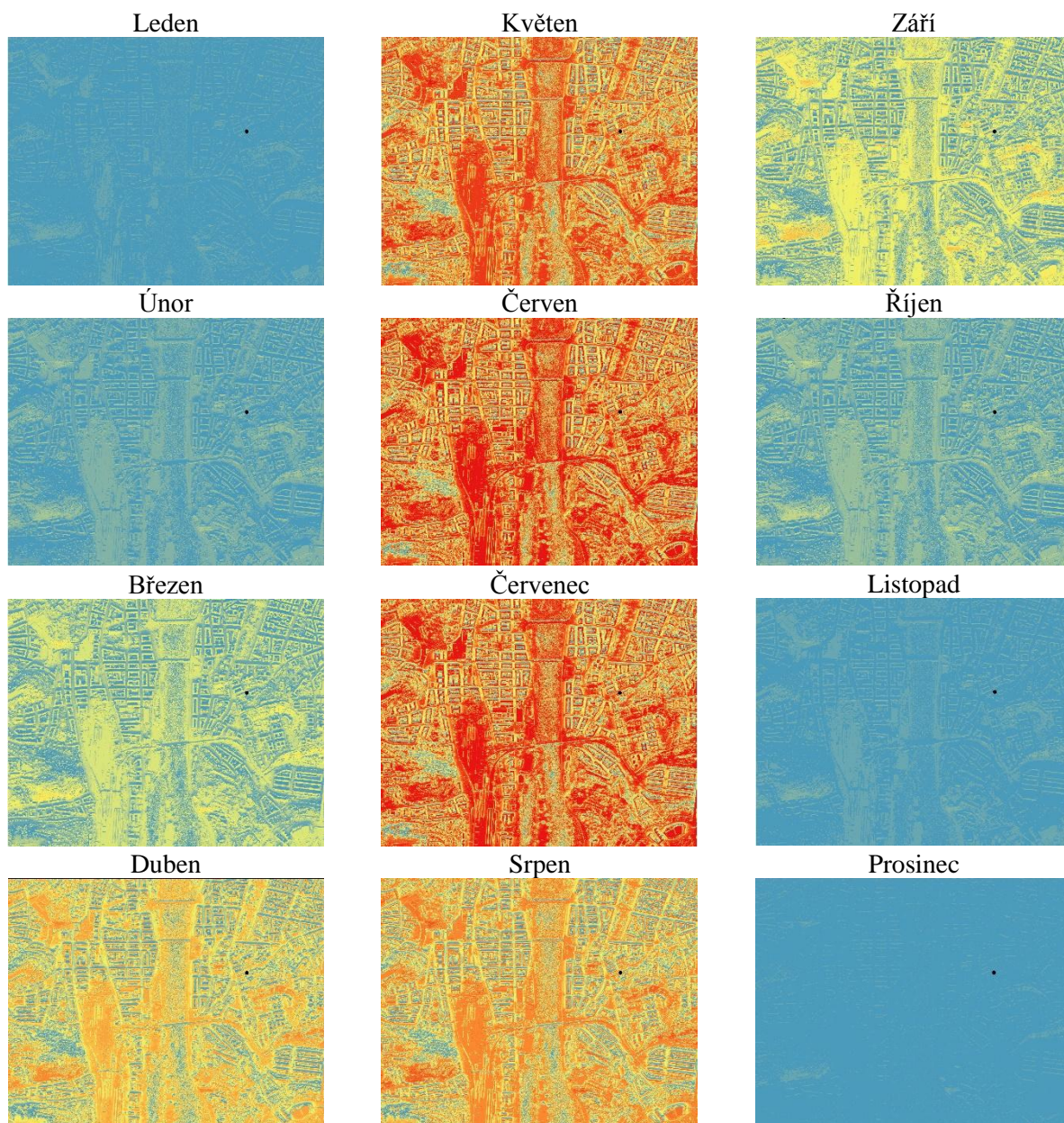
Roční suma celkové radiace





## PŘÍLOHA B: MAPY ArcGIS

### B.1. Celkové měsíční úhrny slunečního záření ve vybrané oblasti Prahy 1 v okolí Vltavy

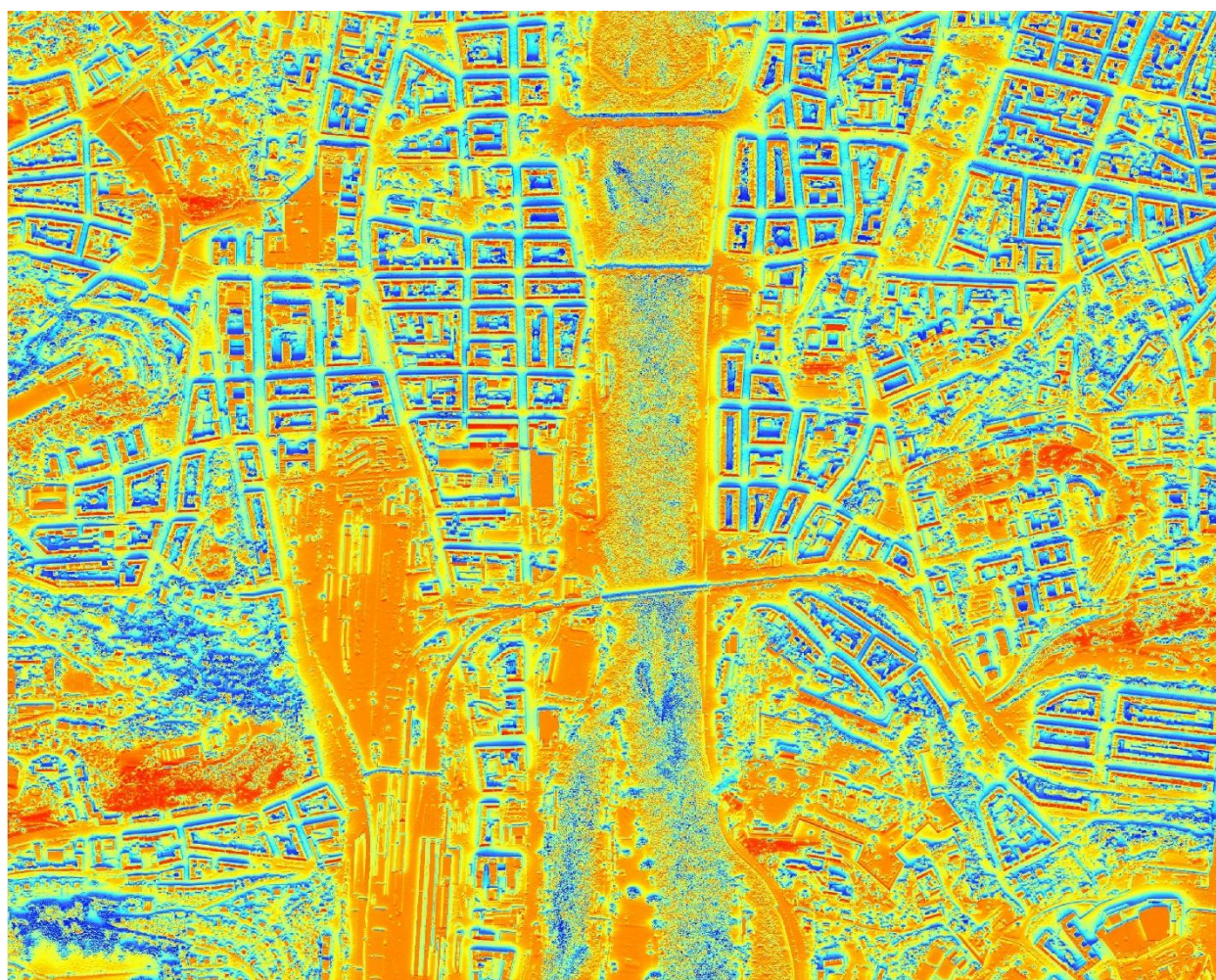


#### Legenda

● Benátská	10 000 - 20 000	50 000 - 60 000	90 000 - 100 000	130 000 - 140 000
Wh/m²	20 000 - 30 000	60 000 - 70 000	100 000 - 110 000	140 000 - 150 000
<4,1	30 000 - 40 000	70 000 - 80 000	110 000 - 120 000	150 000 - 160 000
4,1 - 10 000	40 000 - 50 000	80 000 - 90 000	120 000 - 130 000	160 000 - 175 642



## B.2. Celkový roční úhrn slunečního záření ve vybrané oblasti Prahy 1 v okolí Vltavy



### Legenda

Wh/m<sup>2</sup>



Max : 1 138 580

Min : 228

0 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 Kilometry

## PŘÍLOHA C: GRAF

### C.1. Graf porovnávající naměřené hodnoty ze senzoru s hodnotami vypočítanými v programu ArcGIS

